

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA APLIKOVANÉ FYZIKY A TECHNIKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Miroslav V. Hospodářský



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA APLIKOVANÉ FYZIKY A TECHNIKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Soubor úloh pro laboratorní cvičení oboru Elektrotechnika na střední odborné škole

Autor: Bc. et Bc. Miroslav V. Hospodářský
Studijní program: Fyzika – technická výchova
Studijní obor: Učitelství fyziky a technické výchovy
Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2017



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**UNIVERSITY OF SOUTH BOHEMIA IN ČESKÉ BUDĚJOVICE
FACULTY OF EDUCATION
DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS AND TECHNICS**

DIPLOMA THESIS

A Set of Tasks for Laboratory Exercises for Specialization in Electrotechnics at Vocational School

Author: Bc. et Bc. Miroslav V. Hospodářský
Study Program: Physics – Technical education
Field of Study: Teaching of Physics and Technical Education
Supervisor: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47 písmeno b zákona číslo 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona číslo 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací *Theses.cz* provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Michalu Šerému, Ph.D. za metodické vedení této práce a za cenné rady, podněty a připomínky, které přispěly ke zlepšení jejího obsahu. Dále děkuji kolegyni Mgr. Markétě Kuthanové za pomoc při překladu textů do anglického jazyka.

Anotace

Tato práce se zaměřuje na využití měřicího rozhraní myDAQ firmy National Instruments ve výuce elektrotechnických měření na střední odborné škole. Cílem práce je návrh souboru vhodných měřicích úloh pokrývajících rozsah učební látky předmětu elektrotechnická měření pro 3. a 4. ročník oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika. Součástí práce je popis vlastností měřicího rozhraní myDAQ a příslušného obslužného programu National Instruments Multisim. Obsahem praktické části práce je technologická a fotografická dokumentace jednotlivých měřicích přípravků připojitelných k rozhraní myDAQ. Tato diplomová práce navazuje na autorovu bakalářskou práci.

Klíčová slova

Vyučovací metoda, vyučovací proces, výukový cíl, didaktická technika, učební pomůcky, elektrotechnická měření, měřicí protokol, National Instruments, měřicí rozhraní, on-line měření, myDAQ, Multisim, Eagle, školní vzdělávací program, cílové odborné kompetence, dílčí odborné kompetence, výukový modul, modulová výuka.

Annotation

This diploma thesis is focused on use of measuring interface myDAQ by National Instruments company in teaching of electrotechnical measurement at vocational school. The aim of this work is the design of set of suitable measuring tasks covering the curriculum in electrotechnical measurements for the 3rd and 4th class of study branch of 26-41-M/01 Electrotechnics. Description of the properties of the measuring interface myDAQ and the respective utility programme National Instruments Multisim is a part of this work. The practical part contains technological and photographic documentation of the various products that can be connected to the interface myDAQ. This thesis is built on the author's bachelor thesis.

Key words

Teaching method, teaching process, teaching aim, didactical method, teaching aids, electrotechnical measurements, protocol of measurement, National Instruments, measuring interface, on-line measurement, myDAQ, Multisim, Eagle, school education programme, target professional competences, training module, module education.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ	3
2.1 Technický popis rozhraní myDAQ	4
2.1.1 Rozhraní myDAQ a jeho příslušenství	7
2.1.2 Rozšiřující deska Digilent myProto.....	8
2.1.2 Analogové vstupy (AI 0+, AI 0-, AI 1+, AI 1-)	11
2.1.3 Analogové výstupy (AO 0, AO 1, Audio out).....	13
2.1.4 Číslicové vstupy/výstupy (DIO 0 až DIO 7)	14
2.1.5 Napájecí zdroje	15
2.1.6 Číslicový multimetr	16
2.2 Spolupráce zařízení NI myDAQ se simulačním prostředím National Instruments Multisim	18
2.3 Měřicí přístroje dostupné v zařízení National Instruments myDAQ	22
2.3.1 Číslicový multimetr (NI ELVIS Digital Multimeter).....	23
2.3.2 Dvoukanálový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope).....	24
2.3.3 Funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator)	26
2.3.4 Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer).....	27
2.3.5 Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer)	28
2.3.6 Generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator).....	29
2.3.7 Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader)	30
2.3.8 Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer)	30
3. Zařazení rozhraní National Instruments myDAQ do výuky na střední odborné škole..	32
3.1 Kompetence absolventa elektrotechniky na VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí využívané v předmětu Elektrotechnická měření	32
3.2 Metodika výuky předmětu Elektrotechnická měření	35
3.2.1 Školní vzdělávací program předmětu Elektrotechnická měření.....	35
3.2.2 Učební plán oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika.....	37
3.2.3 Struktura a obsah výukových modulů	37
4. Návrh měřicích úloh pro laboratorní cvičení	60
4.1 Úloha č. M1: Seznámení s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ	60
4.2 Úloha č. M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů.....	61

4.3 Úloha č. M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu.....	63
4.4 Úloha č. M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače.....	64
4.5 Úloha č. M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod	66
4.6 Úloha č. M6: Měření výstup. charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET	66
4.7 Úloha č. M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače.....	67
4.8 Úloha č. M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače	69
4.9 Úloha č. M9: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů	70
4.10 Úloha č. M10: Měření základních parametrů tyristoru	72
4.11 Úloha č. M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory	72
4.12 Úloha č. M12: Aktivní RC kmitočtové filtry	73
4.13 Úloha č. M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů	74
4.14 Úloha č. M14: Měření základních zapojení s operačními zesilovači.....	76
4.15 Úloha č. M15: Měření optoelektronického vazebního členu	78
5. Konstrukce měřicích přípravků pro jednotlivé úlohy	80
5.1 Elektrická zapojení a popis jednotlivých přípravků.....	80
5.1.1 Měřicí přípravek M1: Seznámení s rozhraním NI myDAQ	80
5.1.2 Měřicí přípravek M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů.....	81
5.1.3 Měřicí přípravek M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu.....	81
5.1.4 Měřicí přípravek M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače.....	82
5.1.5 Měřicí přípravek M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod	83
5.1.6 Měřicí přípravek M6: Měření V-A charakteristik tranzistoru MOSFET	83
5.1.7 Měřicí přípravek M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače.....	84
5.1.8 Měřicí přípravek M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače	85
5.1.9 Měřicí přípravek M9: Měření stejnosměrných zesilov. dvojic tranzistorů	85
5.1.10 Měřicí přípravek M10: Měření základních parametrů tyristoru	86
5.1.11 Měřicí přípravek M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory	87
5.1.12 Měřicí přípravek M12: Aktivní RC kmitočtové filtry	87
5.1.13 Měřicí přípravek M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů	88
5.1.14 Měřicí přípravek M14: Měření zákl. zapojení s operačními zesilovači	89
5.1.15 Měřicí přípravek M15: Měření optoelektronického vazebního členu	90
5.2 Technická dokumentace přípravků	90
5.2.1 Měřicí přípravek M1: Seznámení s rozhraním NI myDAQ	91
5.2.2 Měřicí přípravek M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů.....	94

5.2.3	Měřicí přípravek M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu.....	97
5.2.4	Měřicí přípravek M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače.....	100
5.2.5	Měřicí přípravek M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod	103
5.2.6	Měřicí přípravek M6: Měření V-A charakteristik tranzistoru MOSFET	106
5.2.7	Měřicí přípravek M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače.....	109
5.2.8	Měřicí přípravek M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače	112
5.2.9	Měřicí přípravek M9: Měření stejnosměrných zesilov. dvojic tranzistorů	115
5.2.10	Měřicí přípravek M10: Měření základních parametrů tyristoru	118
5.2.11	Měřicí přípravek M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory	121
5.2.12	Měřicí přípravek M12: Aktivní RC kmitočtové filtry	124
5.2.13	Měřicí přípravek M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů	127
5.2.14	Měřicí přípravek M14: Měření zákl. zapojení s operačními zesilovači	130
5.2.15	Měřicí přípravek M15: Měření optoelektronického vazebního členu	133
5.3	Využití měřicích přípravků a úloh ve výuce	136
6.	Závěr	138
7.	Použitá literatura	139
8.	Seznam použitých programů.....	139
9.	Seznam obrázků a tabulek	140
10.	Obsah přiloženého disku CD-ROM.....	143
11.	Přílohy.....	145
	Příloha I: Učební plán oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika	145
	Příloha II: Protokol o měření č. M1	147
	Příloha III: Protokol o měření č. M2	161
	Příloha IV: Protokol o měření č. M3.....	167
	Příloha V: Protokol o měření č. M4	173
	Příloha VI: Protokol o měření č. M5.....	185
	Příloha VII: Protokol o měření č. M6	191
	Příloha VIII: Protokol o měření č. M7	197
	Příloha IX: Protokol o měření č. M8.....	206
	Příloha X: Protokol o měření č. M9	214
	Příloha XI: Protokol o měření č. M10.....	220
	Příloha XII: Protokol o měření č. M11	227
	Příloha XIII: Protokol o měření č. M12	233

Příloha XIV: Protokol o měření č. M13	240
Příloha XV: Protokol o měření č. M14	252
Příloha XVI: Protokol o měření č. M15	262

1. Úvod

Předkládaná práce primárně rozebírá problematiku on-line měření a diagnostiky elektronických součástek a obvodů, jakožto jednu z možných metod výuky elektrotechnických měření. V práci se autor zaměřuje na měřicí rozhraní myDAQ od americké firmy National Instruments¹, která má oficiální zastoupení i v České republice. Pro střední odborné školy je zároveň potěšující, že měřicí rozhraní NI myDAQ, včetně obslužného software, je ve verzi pro výukové účely dostupné za velmi příznivou cenu.²

Měřicí rozhraní NI myDAQ je schopno v elektrotechnické laboratoři střední školy nahradit větší množství měřicích přístrojů, počínaje číslicovým multimetrem a konče osciloskopem. Samozřejmě je mylná představa čtenáře, že by veškeré měření žáků v elektrotechnické laboratoři mělo probíhat pouze s využitím rozhraní NI myDAQ. Po pravdě řečeno (a podle praktických zkušeností autora), k tomuto využití není měřicí rozhraní dostatečně propracované (nedostatky má kupř. v poměrně nízké proudové zatížitelnosti napájecích zdrojů, pro některé účely nevyhovujícím kmitočtovém rozsahu funkčního generátoru, absenci režimu x-y u číslicového osciloskopu a některých dalších komplikacích).³ Učitel laboratorních měření tedy bude využívat měřicí rozhraní NI myDAQ jako vhodný doplněk ke klasickému měření se skutečnými měřicími přístroji. Toto prolínání klasického a on-line měření se autorovi dokonce jeví jako velice vhodné z důvodu nestereotypnosti práce žáků v laboratoři. Zároveň je toto smíšené měření (kombinace vyučovacích hodin s pouze klasickým a pouze on-line měřením) bližší technické praxi, neboť na měřicích pracovištích různých podniků se v současnosti a i v budoucnosti budou žáci setkávat s oběma způsoby elektrotechnických měření.⁴

Výhodou měřicího rozhraní NI myDAQ je jeho spolupráce se simulačním programem NI Multisim s nadstavbou pro virtuální měřicí přístroje NI LabVIEW. Pomocí spolupráce rozhraní NI myDAQ a programu NI Multisim lze jednoduše porovnávat měři-

¹ Dále bude název firmy National Instruments pro úspornost často zkracován oficiální firemní iniciálovou zkratkou NI. Pozn. aut.

² V současné době (r. 2017) stojí rozhraní NI myDAQ i s obslužným programem NI Multisim a NI LabVIEW cca 5000,- Kč (vč. DPH). Firma National Instruments dále dodává vybavenější rozhraní ELVIS, avšak zde se cena pohybuje již okolo 70 000,- Kč (vč. DPH).

³ Převážnou část technických omezení rozhraní NI myDAQ napravuje komplexnější měřicí rozhraní NI ELVIS a NI ELVIS II, ovšem samozřejmě za citelně vyšší pořizovací cenu (srv. pozn. 2).

⁴ Všechny významné firmy vyrábějící měřicí techniku (Tektronix, Rohde-Schwarz, Agilent aj.) mají v nabídce jak přístroje zapojitelné do automatizovaných systémů měření IMS-2/GPIB, CAMAC/VXI či Ethernet, tak i přístroje pro ruční měření.

cí data získaná z obvodu simulovaného v prostředí programu NI Multisim s daty získanými ze skutečného obvodu.

Autor v této práci navrhnul sadu měřicích úloh spolu s příslušnými zkušebními přípravky a zadáním protokolů o měření. Úlohy jsou voleny tak, aby vhodně pokrývaly obsah učiva obsažený v jednotlivých výukových modulech pro 3. a 4. ročník elektrotechnických měření v maturitním oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika. V roce 2016 autor provedl prvotní ověření vhodnosti zařazení rozhraní NI myDAQ do výuky, kdy navrhnul zadání čtyř měřicích úloh. V rámci maturitního projektu byly k těmto úlohám žákem 4. ročníku Danielem Čermákem⁵ vytvořeny po konzultaci s autorem příslušné měřicí přípravy. Tato maturitní práce byla všemi kolegy na úseku elektroniky a automatizace autorova pracoviště⁶ po odborné stránce vysoce hodnocena a byla presentována i na Středoskolské odborné činnosti v rámci krajského i republikového kola.

Hlavním cílem autora je tedy popis měřicího rozhraní NI myDAQ, seznámení s prostředím simulačního programu NI Multisim, spolupráce rozhraní s programem a vytvoření návrhu zadání úloh vhodných pro zařazení do výuky elektrotechnických měření. Dále vytvoření problémově orientovaných protokolů o laboratorním cvičení a k tomu příslušných měřicích přípravků vhodných pro přímé připojení k rozhraní NI myDAQ. Na závěr autor provádí ověření správné činnosti jednotlivých měřicích přípravků.

Konečným výsledkem této diplomové práce je vytvoření autorského díla obsahujícího informace o měřicím rozhraní NI myDAQ a on-line měření. Autor předpokládá, že jeho práce by do budoucna mohla sloužit jako zdroj inspirace pro tvorbu dalších úloh buď učiteli elektrotechniky či navazujícími autory.

⁵ Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016. Maturitní práce, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí. Vedoucí práce Bc. et Bc. Miroslav V. Hospodářský.

⁶ Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421. Oficiální webové stránky <http://www.copsu.cz>.

2. Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ

Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ [majdak] je přenosné zařízení určené ke sběru dat z připojených elektronických obvodů.⁷ Rozhraní NI myDAQ bylo na trh uvedeno r. 2010 výrobcem National Instruments ve spolupráci s firmou Texas Instruments.⁸ Měřicí rozhraní NI myDAQ je určeno zejména pro „studentské“ úlohy a je od výrobce na toto zaměření navrženo. Rozhraní NI myDAQ v kombinaci s prvky NI LabVIEW umožňuje analyzovat a zpracovávat signály získané z připojených obvodů a tyto obvody i ovládat. V dalším textu autor označuje měřicí rozhraní National Instruments myDAQ buď jako měřicí rozhraní myDAQ (přičemž přídavné jméno „měřicí“ není vždy zdůrazňováno), nebo jako zařízení myDAQ. Milý čtenář necht' tyto dva pojmy považuje, ve shodě s autorem, za synonyma.



Obr. 1. Vzhled měřicího rozhraní National Instruments myDAQ⁹

Hlavním důvodem, proč firma National Instruments uvedla měřicí rozhraní na trh, je zejména popularizace softwarových prostředků firmy zacílená zejména na ukázkové studentské úlohy, a to od jednoduchých začátečnických úloh až po složitější úlohy s využitím prostředí NI Multisim a NI LabVIEW. Jak podotýká Ing. Jaroslav Vlach¹⁰, lze,

⁷ Z anglického označení sběru dat „Data acquisition“ vychází i zkratka myDAQ, což do češtiny přeloženo znamená „moje zařízení pro sběr dat“. Pozn. aut.

⁸ Srv. Vlach, J.: „Studentská“ karta NI myDAQ a její využití v LabVIEW. *AUTOMA*, 2012, č. 3, str. 73.

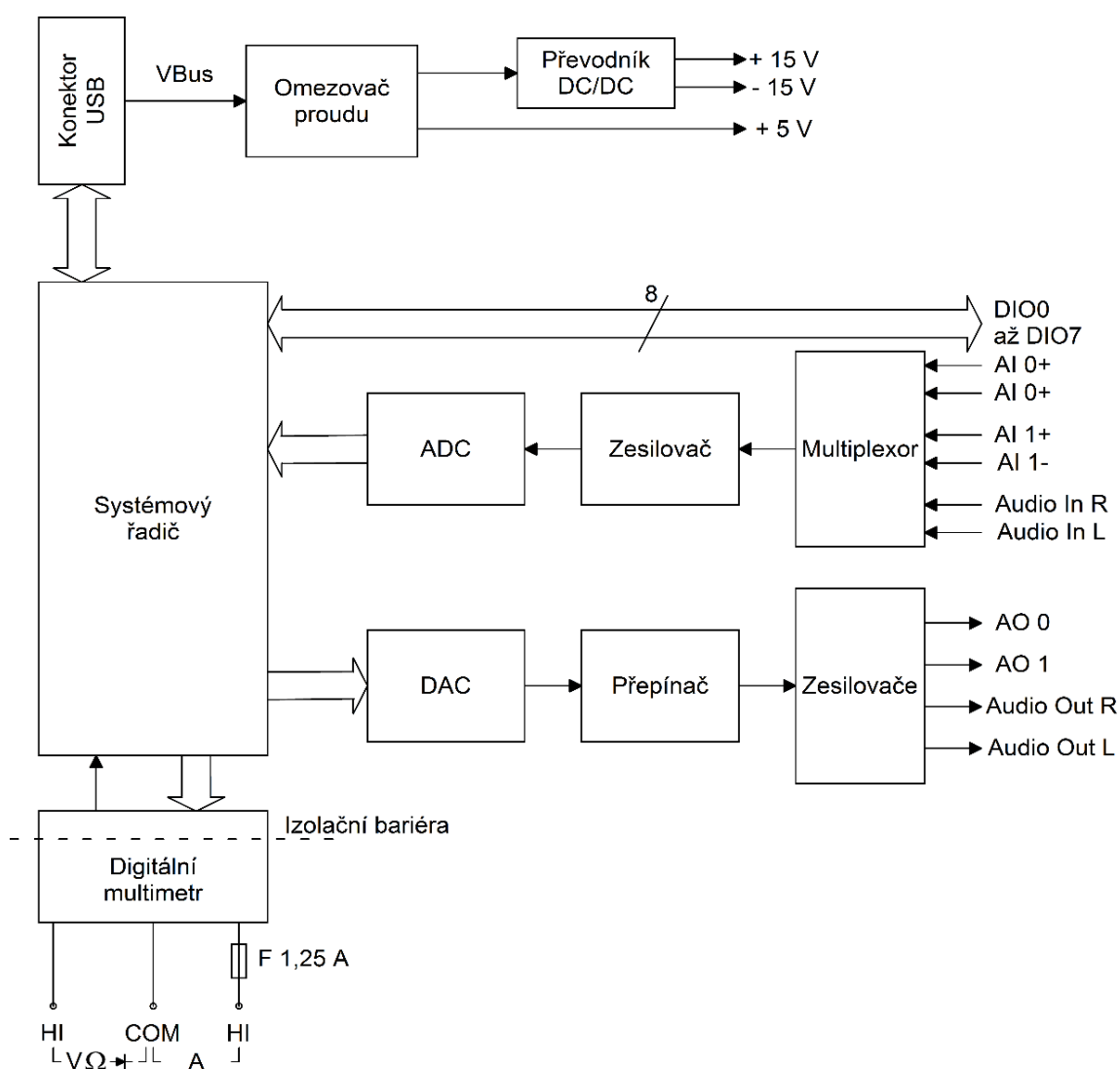
⁹ Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016, str. 3, obr. 2.1.

¹⁰ Dtto pozn. 8.

s ohledem na příznivou cenu rozhraní cca 3800 Kč bez DPH, hlavní využití očekávat ve školních laboratořích v oblasti měření a zpracování signálů.

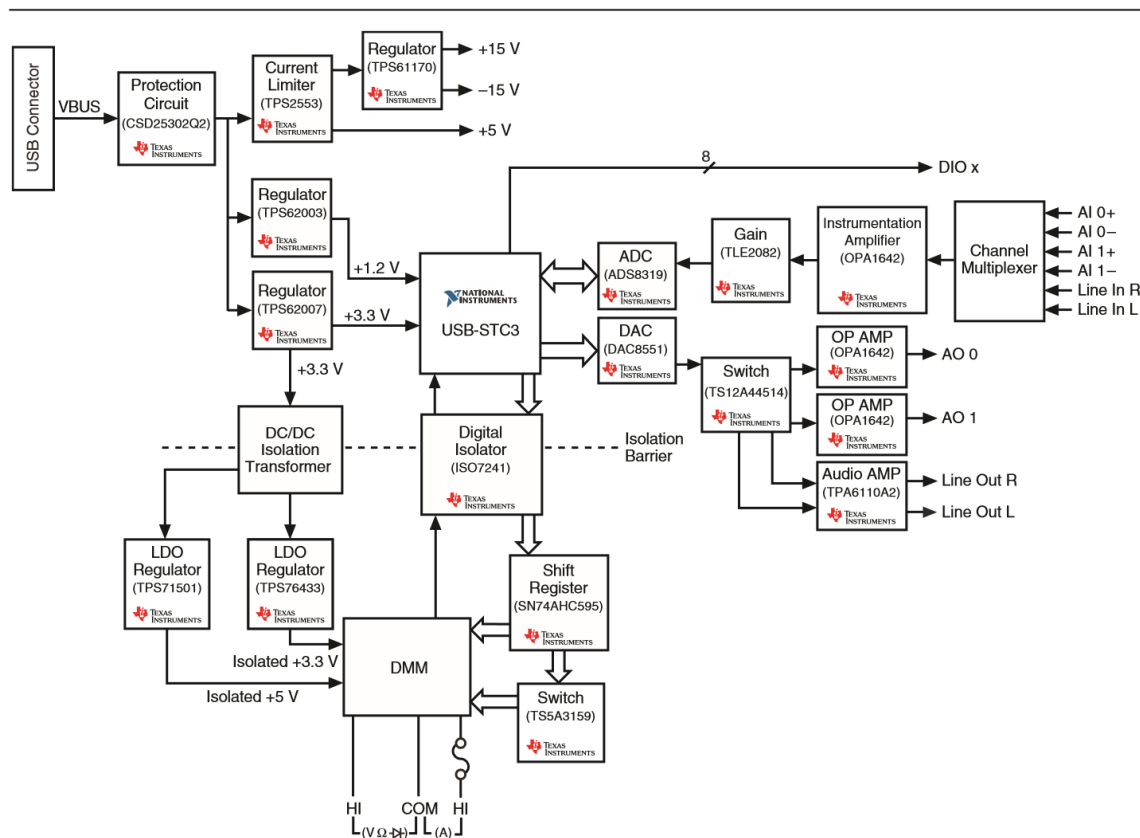
2.1 Technický popis rozhraní myDAQ

Zjednodušené blokové schéma měřicího rozhraní NI myDAQ je uvedeno na obr. 2. Podrobné blokové schéma, včetně použitých integrovaných obvodů, je na obr. 3. Zařízení NI myDAQ se k počítači připojuje prostřednictvím portu USB.



Obr. 2. Zjednodušené blokové schéma měřicího rozhraní National Instruments myDAQ

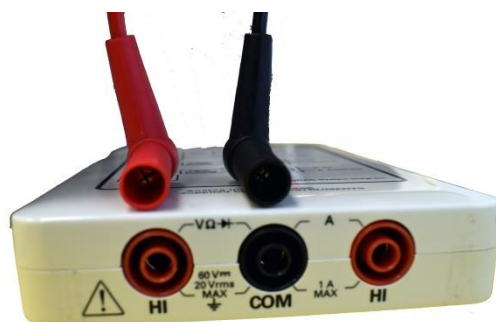
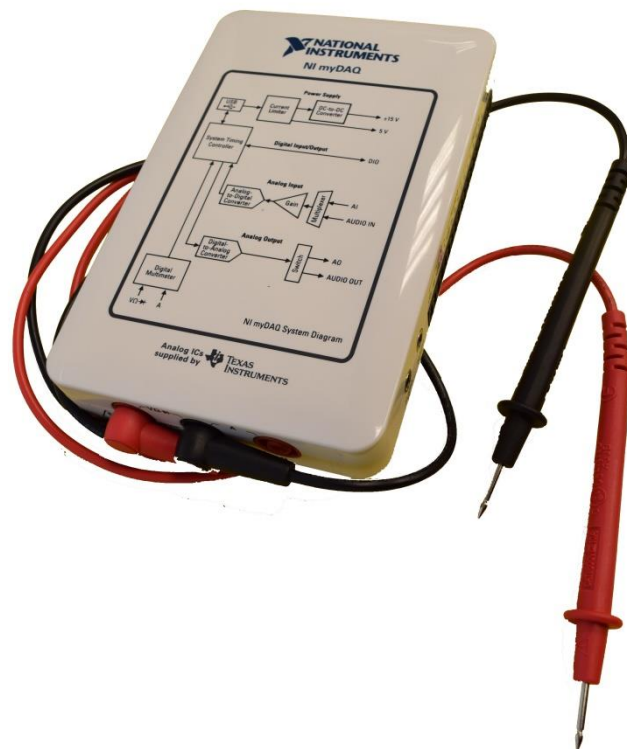
Port USB zajišťuje komunikaci a napájení zařízení NI myDAQ. Tento port zároveň slouží i jako napájecí zdroj pro zkoumané obvody, avšak zařízení myDAQ lze napájet i z externího napájecího zdroje a využívat jej poté pouze jako čistý sběrač dat.



Obr. 3. Podrobné blokové schéma měřicího rozhraní National Instruments myDAQ včetně výpisu použitých integrovaných obvodů¹¹: *USB Connector* – zásuvka USB; *Protection Circuit* – ochranný obvod; *Current Limiter* – proudový omezovač; *Regulator* – DC/DC měnič napětí; *DC/DC Isolation Transformer* – DC/DC isolační převodník; *LDO Regulator* – nízkošumový měnič napětí; *DMM* – číslicový multimetr; *USB-STC3* – systémový řadič; *Digital Isolator* – digitální oddělovač; *Shift Register* – posuvný registr; *Switch* – přepínač; *ADC* – A/D převodník; *DAC* – D/A převodník; *Gain* – zesilovač; *Instrumentation Amplifier* – přístrojový zesilovač; *OP AMP* – operační zesilovač; *Audio AMP* – audiozesilovač; *Channel Multiplexer* – kanálový multiplexor

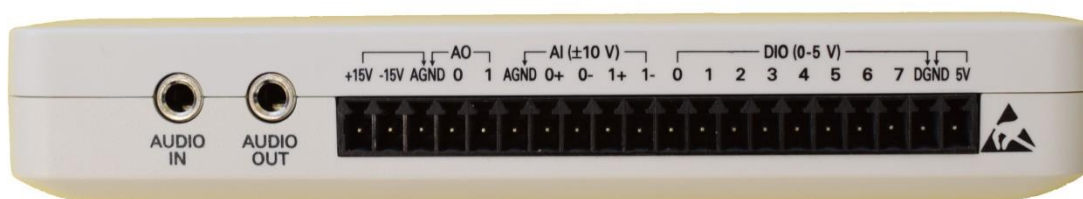
Základním přístrojem, který je obsažen v měřicím rozhraní NI myDAQ je číslicový multimetr, jímž lze měřit stejnosměrné a střídavé napětí i proud, elektrický odpor, úbytek napětí na p-n přechodu. Při tomto měření využíváme v příslušenství zařízení NI myDAQ obsaženou dvojici měřicích vodičů se zkušebními hroty. Tyto vodiče připojujeme na příslušné svorky HI – COM – HI na přední (kratší) straně zařízení NI myDAQ.

¹¹ *NI myDAQ User Guide*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 4, obr. 2.



Obr. 4. Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ ve funkci číslicového multimetru: nahoře fotografie zařízení NI myDAQ s připojenými sondami; dole ukázka připojení sond

Při používání dalších funkcí, vyjma popsaného číslicového multimetru, využijete signály vyvedené na speciální řadový konektor umístěný na boční (delší) straně zařízení NI myDAQ (viz obr. 5).

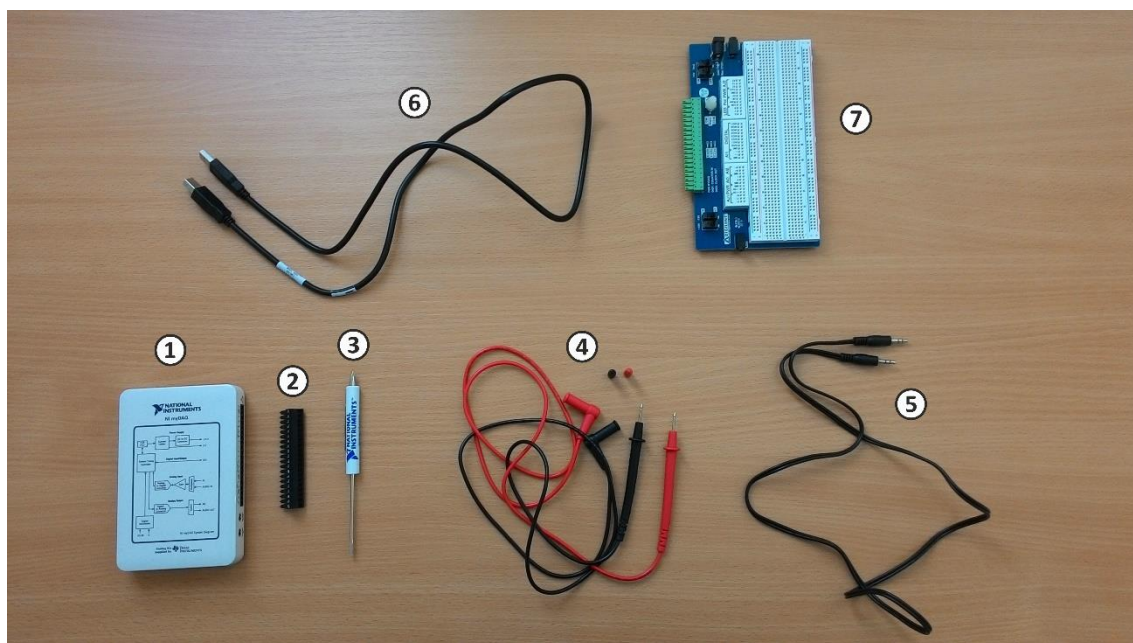


Obr. 5. Rozmístění signálů na řadovém konektoru zařízení NI myDAQ

2.1.1 Rozhraní myDAQ a jeho příslušenství

Výrobce National Instruments dodává měřicí rozhraní myDAQ včetně bohatého příslušenství, které obsahuje následující položky:

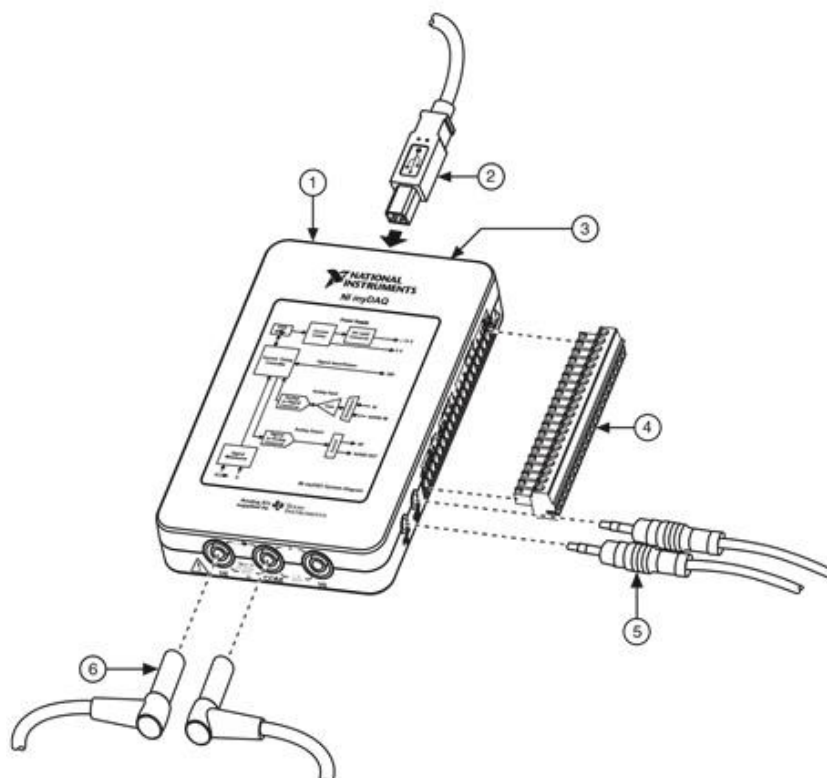
- 1) měřicí rozhraní NI myDAQ;
- 2) dvacetipinovou šroubovou svorkovnici připojitelnou k řadovému konektoru měřicího rozhraní NI myDAQ;
- 3) šroubovák s plochým koncem pro práci se šroubovou svorkovnicí;
- 4) měřicí sondy k číslcovému multimetru zařízení NI myDAQ;
- 5) kabel pro přenos audiosignálu z generátoru zařízení NI myDAQ s koncovkami Jack 3,5 mm;
- 6) USB kabel pro propojení zařízení NI myDAQ s počítačem;
- 7) zkušební desku myProto s nepájivým polem pro připojení k řadovému konektoru měřicího rozhraní NI myDAQ;
- 8) DVD disk „NI myDAQ Software Suite 2014“ obsahující veškerý potřebný software (ovladače rozhraní myDAQ, program LabVIEW, Multisim).



Obr. 6. Příslušenství k rozhraní NI myDAQ: 1 – zařízení myDAQ; 2 – šroubová svorkovnice; 3 – šroubovák; 4 – měřicí sondy multimetru; 5 – audiokabel; 6 – USB kabel; 7 – deska myProto s nepájivým polem¹²

¹² Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016, str. 5, obr. 2.4.

Na následujícím obrázku jsou graficky znázorněny způsoby připojení periférií k měřicímu rozhraní NI myDAQ.



Obr. 7. Způsoby fyzického připojení periférií k měřicímu rozhraní NI myDAQ: 1 – zařízení myDAQ; 2 – USB kabel; 3 – indikační svítivá dioda (LED); 4 – šroubová svorkovnice; 5 – audiokabel s koncovkami Jack 3,5 mm; 6 – měřicí sondy číslicového multimetru¹³

2.1.2 Rozšiřující deska Digilent myProto

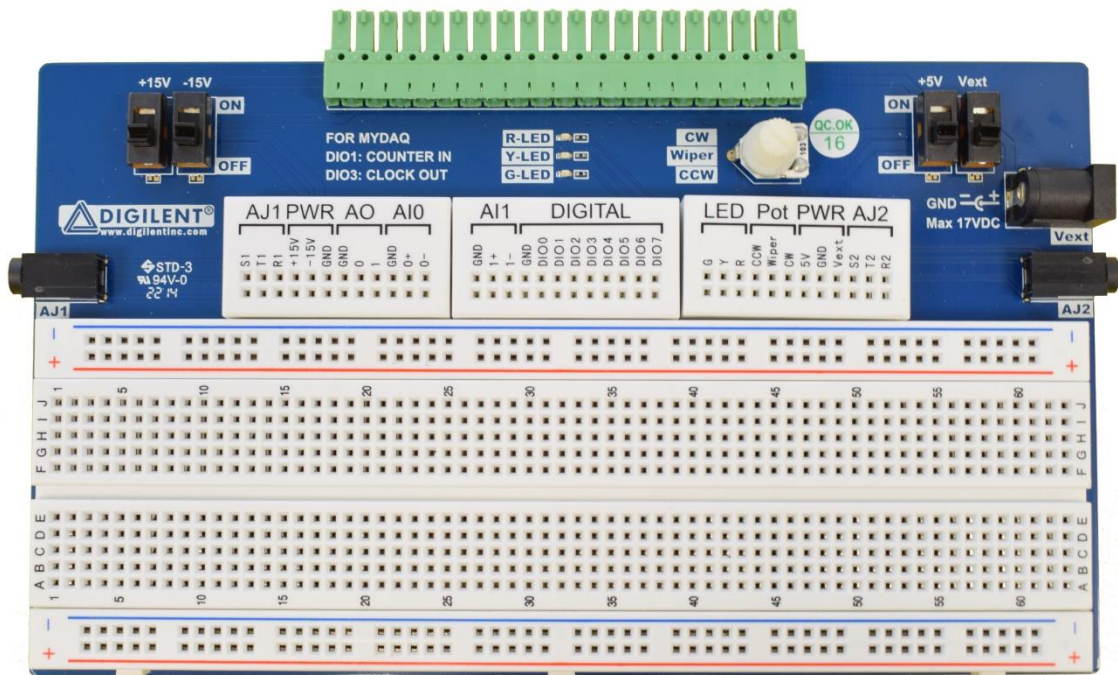
Jak uvádí výrobce rozšiřující karty, firma Digilent Inc.¹⁴, lze rozšiřující kartu myProto přímo připojit na řadový konektor měřicího rozhraní NI myDAQ. Karta myProto obsahuje kromě nepájivého pole i některé přídavné vstupně-výstupní obvody. Označení signálů na desce myProto koresponduje s příslušnými signály v měřicím rozhraní NI myDAQ a jeho ovládacím software Multisim a LabVIEW. Všechny nulové potenciály GND na kartě myProto jsou vodivě propojeny s příslušnými nulovými potenciály zařízení myDAQ. Struktura a výhody rozšiřující karty myProto jsou následující:

- Obsahuje nepájivé pole 10 x 65 posic (nezapočítáno 100 posic pro kladný pól napájení, 100 posic pro záporný pól napájení a 60 posic pro vstupně-výstupní signály).
- Na desce jsou přístupné všechny signály rozhraní myDAQ.

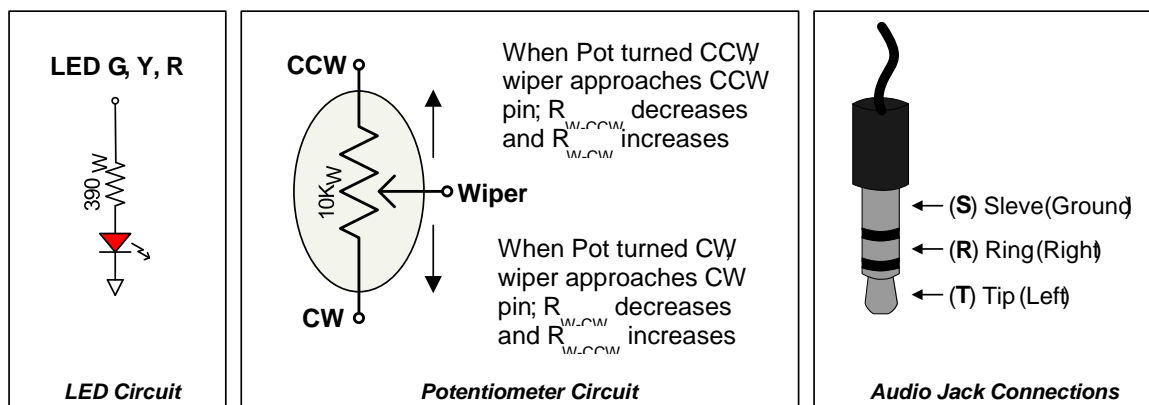
¹³ NI myDAQ User Guide. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 8, obr. 3.

¹⁴ Digilent myProto Reference Manual. Digilent, Pullman (Washington, USA) 2014, str. 1.

- Na desce jsou integrovány tři SMD svítivé diody k volnému použití.
- Na desce je integrován jeden potenciometrický trimr 10 kΩ k volnému použití.
- Deska obsahuje dva audiokonektory Jack 3,5 mm.
- Deska obsahuje napájecí konektor Jack 6 mm pro přívod externího napájení.
- Všechna napájecí napětí (z rozhraní myDAQ i externí) lze odpojit pomocí zabudovaných spínačů.



Obr. 8. Vzhled rozšiřující desky Digilent myProto



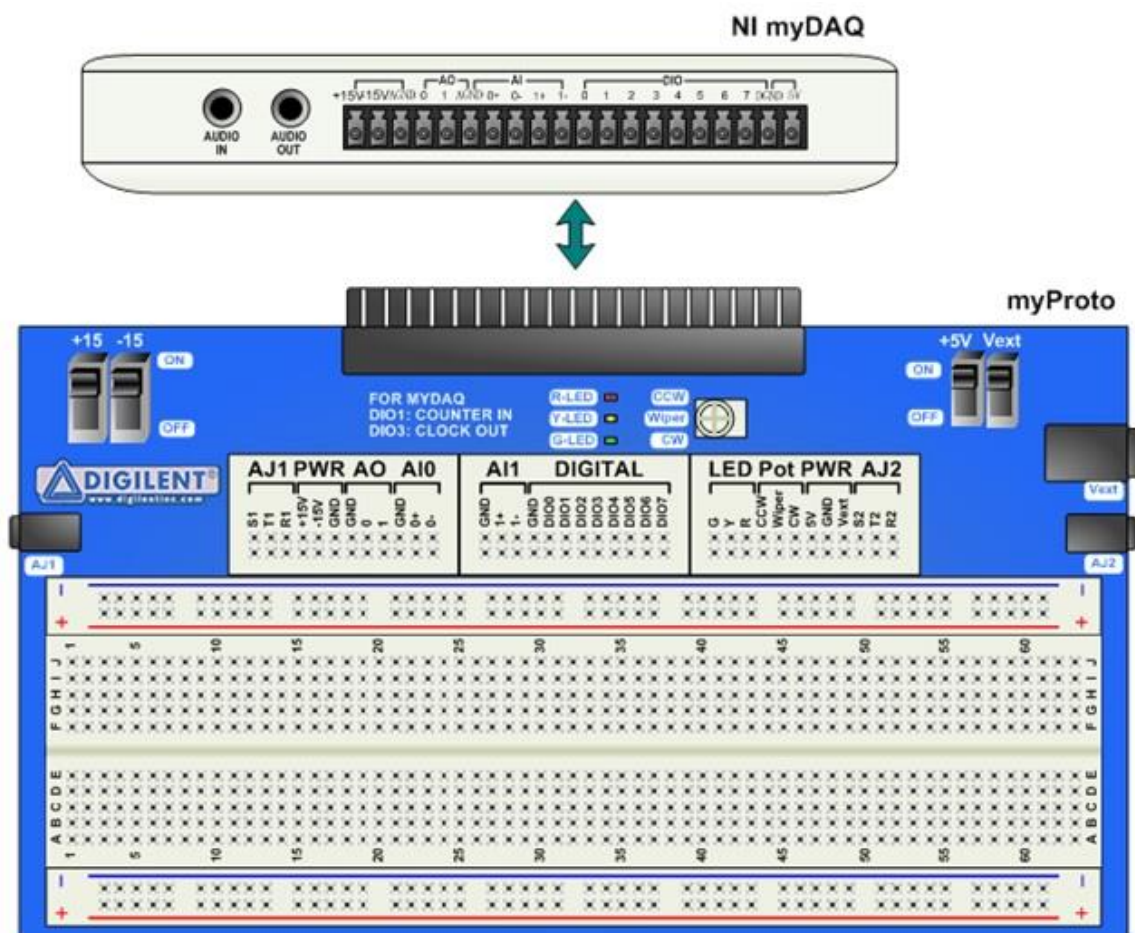
Obr. 9. Zapojení svítivých diod, potenciometrického trimru a audiokonektoru rozšiřující desky Digilent myProto¹⁵

¹⁵ Digilent myProto Reference Manual. Digilent, Pullman (Washington, USA) 2014, str. 2, obr. 2.

Na rozšiřující desce myProto jsou vedle řadové zásuvky (protikusu ke konektoru zařízení myDAQ) vyvedeny na nepájivém poli signály z připojeného zařízení myDAQ i unikátní signály desky myProto. Označení vyvedených signálů a jejich stručný popis jsou uvedeny v následující tabulce.

Pin	Funkce	Pin	Funkce	Pin	Funkce
AJ1 S1	Audio Jack 1 Sleeve	AI1 GND	nula analogového vstupu 1	LED G	zelená LED
AJ1 T1	Audio Jack 1 Tip	AI1 1+	analogový vstup 1+	LED Y	žlutá LED
AJ1 R1	Audio Jack 1 Ring	AI1 1-	analogový vstup 1-	LED R	červená LED
PWR +15V	+15 V zdroje myDAQ	DIG GND	digitální nula	Pot CCW	začátek dráhy trimru 10 kΩ
PWR -15V	-15 V zdroje myDAQ	DIG DIO0	digitální I/O 0	Pot Wiper	jezdec trimru 10 kΩ
PWR GND	nula zdroje myDAQ	DIG DIO1	digitální I/O 1	Pot CW	konec dráhy trimru 10 kΩ
AO0 GND	nula analogového výstupu 0	DIG DIO2	digitální I/O 2	PWR 5V	+5 V zdroje myDAQ
AO0	analogový výstup 0	DIG DIO3	digitální I/O 3	PWR GND	nula napájení
AO1	analogový výstup 1	DIG DIO4	digitální I/O 4	PWR Vext	externí napětí z Jacku 6 mm (max. 17 V ss)
AI0 GND	nula analogového vstupu 0	DIG DIO5	digitální I/O 5	AJ2 S2	Audio Jack 2 Sleeve
AI0 0+	analogový vstup 0+	DIG DIO6	digitální I/O 6	AJ2 T2	Audio Jack 2 Tip
AI0 0-	analogový vstup 0-	DIG DIO7	digitální I/O 7	AJ2 R2	Audio Jack 2 Ring

Tab. 1. Označení a význam signálů na rozšiřující desce Digilent myProto



Obr. 10. Propojení rozšiřující karty Digilent myProto s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ¹⁶

2.1.2 Analogové vstupy (AI 0+, AI 0-, AI 1+, AI 1-)

Měřicí rozhraní NI myDAQ obsahuje dva analogové vstupní kanály AI (Analog Input). Tyto kanály může uživatel softwarově nakonfigurovat buď jako vysokoimpedanční rozdílové napěťové vstupy pro zpracování napěťových signálů v rozsahu -10 V až +10 V, nebo jako stereofonní audiovstupy. Měření nebo rozbor signálu přiváděného na analogové vstupy AI lze provádět až do vzorkovací rychlosti 200 kSa/s (200 tisíc vzorků za 1 sekundu) na kanál. Analogové vstupy jsou využity u NI ELVISmx osciloskopu, dynamického signálového analyzátoru a Bodeho analyzátoru. Podrobnější technické údaje analogových vstupů AI jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 2). Referenčním nulovým bodem pro analogové vstupy je svorka AGND.

¹⁶ Digilent myProto Reference Manual. Digilent, Pullman (Washington, USA) 2014, str. 2, obr. 1.

Parametr	Hodnota či druh
Počet kanálů	2 diferenciální analogové vstupy nebo 1 stereofonní audiovstup
Rozlišení A/D převodníků	16 bitů
Max. vzorkovací rychlost	200 kSa/s
Přesnost časování	100 ppm ze vzorkovací rychlosti
Časová rozlišovací schopnost	10 ns
Rozsah analogových vstupů	± 10 V nebo ± 2 V (stejnoseměrná vazba)
Rozsah audiovstupu	± 2 V (střídavá vazba)
Šířka přenášeného pásma (pro pokles -3 dB) pro analogové vstupy	0 Hz až 400 kHz
Šířka přenášeného pásma (pro pokles -3 dB) pro audiovstupy	1,5 Hz až 400 kHz
Konektor analogových vstupů	Systémový konektor nebo šroubové svorky
Konektor audiovstupů	Stereofonní zásuvka Jack 3,5 mm
Zdroj signálu pro audiovstup	Line-in nebo mikrofon
Mezní signál pro audiovstup	5,25 V na vstupní impedanci 10 k Ω
Absolutní chyba měření na rozsahu ± 10 V	Typ. 22,8 mV (23°C); max. 38,9 mV (18°C až 28°C)
Absolutní chyba měření na rozsahu ± 2 V	Typ. 4,9 mV (23°C); max. 8,6 mV (18°C až 28°C)
Kapacita vstupní FIFO paměti	4095 vzorků (sdíleno pro oba kanály)
Max. pracovní napětí analogového vstupu	$\pm 10,5$ V vůči analogové nule AGND
Potlačení přeslechu kanálů AI vůči sobě (CMRR)	70 dB (pro rozsah 0 Hz až 60 Hz)
Vstupní impedance vstupu AI+ či AI- vůči AGND	>10 G Ω //100 pF (myDAQ zapnut); 5 k Ω (myDAQ vypnut)
Vstupní impedance vstupu AI+ vůči AI-	>10 G Ω //100 pF (myDAQ zapnut); 10 k Ω (myDAQ vypnut)
Přepět'ová ochrana vstupů AI+ nebo AI- vůči AGND	± 16 V
Přepět'ová ochrana audiovstupů	Není zabudována
Rekonstrukční (anti-aliasing) filtr A/D převodníků	Není zabudován

Tab. 2. Technické údaje analogových vstupů měřicího rozhraní National Instruments myDAQ¹⁷

¹⁷ NI myDAQ specifications. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 1 nn.

2.1.3 Analogové výstupy (AO 0, AO 1, Audio out)

Měřicí rozhraní NI myDAQ obsahuje dva analogové výstupní kanály. Ty může uživatel nakonfigurovat buď jako napěťový výstup AO 0, AO 1, nebo jako audiovýstup Audio out. Na těchto výstupech je možné generovat signály různých tvarů (sinus, trojúhelník, obdélník) o rozkmitu až ± 10 V. Analogové výstupy však mají malou proudovou zatížitelnost, a to max. 2 mA výstupního proudu. Výstupní signály lze generovat do vzorkovací rychlosti max. 200 kSa/s (200 tisíc vzorků za 1 sekundu) na každý kanál. Referenčním nulovým bodem pro analogové výstupy je svorka AGND.

Parametr	Hodnota či druh
Počet kanálů	2 analogové výstupy vztažené k AGND nebo 1 stereofonní audiovýstup
Rozlišení D/A převodníků	16 bitů
Max. vzorkovací rychlost	200 kSa/s
Rozsah analogových výstupů	± 10 V nebo ± 2 V (stejnoseměrná vazba)
Rozsah audiovýstupu	± 2 V (střídavá vazba)
Maximální výstupní proud analogového výstupu ¹⁸	2 mA
Výstupní impedance	1 Ω (analogový výstup) 120 Ω (audiovýstup)
Minimální zatěžovací impedance audiovýstupu	8 Ω
Konektor analogových výstupů	Systémový konektor nebo šroubové svorky
Konektor audiovýstupu	Stereofonní zásuvka Jack 3,5 mm
Absolutní chyba měření na rozsahu ± 10 V	Typ. 19,6 mV (23°C); max. 42,8 mV (18°C až 28°C)
Absolutní chyba měření na rozsahu ± 2 V	Typ. 5,4 mV (23°C); max. 8,8 mV (18°C až 28°C)
Kapacita výstupní FIFO paměti	8191 vzorků (sdíleno pro oba kanály)
Rychlost přeběhu signálu	4 V/ μ s
Přesnost časování	100 ppm ze vzorkovací rychlosti
Časová rozlišovací schopnost	10 ns
Přepětěová ochrana výstupů	± 16 V proti AGND
Maximální napětí na analogových výstupech při zapnutém zařízení myDAQ a nezapojeném USB kabelu	± 110 mV

Tab. 3. Technické údaje analogových výstupů měřicího rozhraní National Instruments myDAQ¹⁹

¹⁸ Celkový dostupný výkon pro napájecí zdroje, analogové a číslicové výstupy je omezen typicky na 500 mW, minimálně 100 mW. Podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole „Calculating Power Consumption“ technického manuálu *NI myDAQ specifications*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 8 n.

¹⁹ *NI myDAQ specifications*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 3 n.

2.1.4 Číslicové vstupy/výstupy (DIO 0 až DIO 7)

V měřicím rozhraní NI myDAQ máme k dispozici osm digitálních linek DIO 0 až DIO 7. Linky DIO 0 až DIO 3 může uživatel nakonfigurovat i do funkce čítače nebo časovače. Skrze digitální linku DIO 3 lze generovat průběhy s impulsní šířkovou modulací (PŠM/PWM signály). Maximální zatěžovací proud je 4 mA na jednu výstupní linku. Číslicové vstupy jsou kompatibilní s nízkovoltovou tranzistorově-tranzistorovou logikou (LVTTL, $U_{CC} = 3,3$ V), lze však na ně přivádět signály s napětím do +5 V, tj. jsou plně slučitelné se standardní logikou TTL. Číslicové výstupy pracují s nízkovoltovou logikou LVTTL ($U_{CC} = 3,3$ V) a se standardní logikou TTL nejsou plně slučitelné. Referenčním nulovým bodem pro digitální linky DIO 0 až DIO 7 je svorka DGND.

Parametr	Hodnota či druh
Počet digitálních linek	8 (DIO 0 až DIO 7)
Ovládání směru linek	Softwarově programovatelné jako vstup či výstup
Způsob obnovování stavu linek	Softwarově řízené časování
Snižovací (pull-down) rezistory linek	75 k Ω
Logické úrovně	LVTTL kompatibilní s 5 V (vstupy); 3,3 V LVTTL (výstupy)
Napětí na vstupu linky pro stav log. 1	$U_{IH} = \text{min. } 2,0$ V
Napětí na vstupu linky pro stav log. 0	$U_{IL} = \text{max. } 0,8$ V
Maximální výstupní proud každé linky ²⁰	4 mA

Tab. 4. Technické údaje digitálních linek DIO 0 až DIO 7 ve funkci digitálních vstupů/výstupů

Parametr	Hodnota či druh
Počet dostupných čítačů/časovačů	1
Rozlišení	32 bitů
Kmitočet interní časové základny	100 MHz
Přesnost kmitočtu časové základny	100 ppm
Max. rychlost generování pulsů a čítání	1 MSa/s
Způsob přenosu dat	Programovatelné vstupy/výstupy
Způsob obnovování stavu	Softwarově řízené časování

Tab. 5. Technické údaje digitálních linek DIO 0 až DIO 7 ve funkci čítače/časovače pro všeobecné použití²¹

²⁰ Viz pozn. 18.

²¹ V tabulce není uvedeno defaultní přiřazení signálů čítače CTR 0 a výstupu časové základny FREQ k jednotlivým digitálním linkám. Blíže viz *NI myDAQ specification*. National Instruments, Austin (Texas, USA), str. 5.

2.1.5 Napájecí zdroje

Zařízení NI myDAQ využívá napájecí napětí +5 V dodávané prostřednictvím USB kabelu z připojeného počítače. Toto napětí se využívá zejména pro napájení číslicových obvodů logiky TTL. Pro práci zejména s operačními zesilovači je zařízení NI myDAQ vybaveno měničem napětí, který ze vstupního napětí +5 V (získávaného z konektoru USB) vytváří symetrické napětí ± 15 V. Všechna napájecí napětí +5 V, +15 V, -15 V jsou rozhraním myDAQ chráněna před účinky nadměrné proudové zátěže či zkratu. Bližší technické údaje napájecích zdrojů zařízení myDAQ jsou uvedeny v následujících tabulkách (tab. 6 až 8).

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí	Typicky +15,0 V (bez zátěže); maximálně +15,3 V (bez zátěže); minimálně +14,0 V (plná zátěž)
Maximální výstupní proud ²²	32 mA
Maximální zatěžovací kapacita	470 μ F

Tab. 6. Technické parametry napájecího zdroje +15 V zařízení NI myDAQ

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí	Typicky -15,0 V (bez zátěže); maximálně -15,3 V (bez zátěže); minimálně -14,0 V (plná zátěž)
Maximální výstupní proud ²³	32 mA
Maximální zatěžovací kapacita	470 μ F

Tab. 7. Technické parametry napájecího zdroje -15 V zařízení NI myDAQ

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí	Typicky +4,9 V (bez zátěže); maximálně +5,2 V (bez zátěže); minimálně +4,0 V (plná zátěž)
Maximální výstupní proud ²⁴	100 mA
Maximální zatěžovací kapacita	33 μ F

Tab. 8. Technické parametry napájecího zdroje +5 V zařízení NI myDAQ

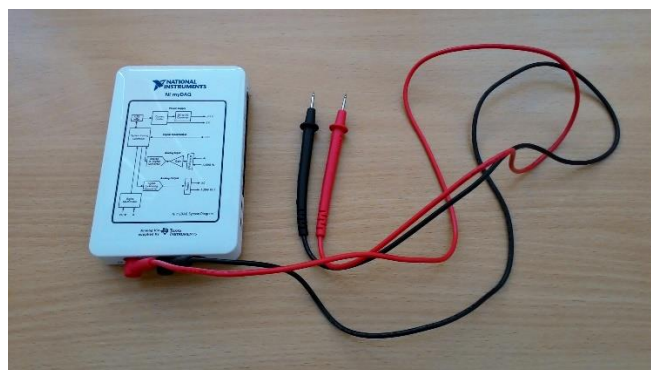
²² Viz pozn. 18.

²³ Dtto pozn. 22.

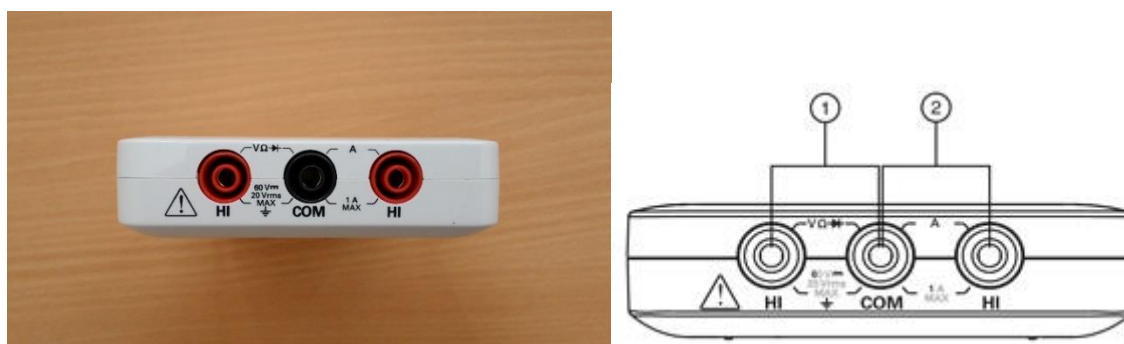
²⁴ Dtto pozn. 22.

2.1.6 Číslicový multimetr

Číslicový multimetr patří mezi základní přístroje měřicího rozhraní NI myDAQ. Pomocí multimetru lze měřit stejnosměrné a střídavé elektrické napětí i proud, elektrický odpor a úbytek napětí na polovodičovém přechodu p-n. V příslušenství zařízení NI myDAQ jsou i dvě měřicí sondy (červená a černá), které se připojují do příslušných zdírek 4 mm na přední (kratší) straně zařízení myDAQ (viz obr. 11).



Obr. 11. Měřicí rozhraní NI myDAQ zapojené ve funkci číslicového multimetru²⁵



Obr. 12. Zdíčky pro připojení měřicích sond číslicového multimetru: vlevo skutečná fotografie²⁶; vpravo popis: 1 – zdíčky pro měření napětí, odporu, testu diod a vodivosti, 2 – zdíčky pro měření proudu²⁷

Měření pomocí číslicového multimetru je softwarově časované. Rychlost obnovování údajů (kmitočet periodicky se opakujících odměrů) závisí na výpočetním zatížení připojeného počítače a na aktivitě USB linky.²⁸

²⁵ Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016, str. 8, obr. 2.6.

²⁶ Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016, str. 8, obr. 2.7.

²⁷ *NI myDAQ User Guide*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 10, obr. 5.

²⁸ Srv. pozn. v technickém manuálu *NI myDAQ User Guide*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 5.

Parametr	Hodnota či druh
Měřené veličiny ²⁹	Ss napětí, st napětí, ss proud, st proud, el. odpor, diodový test, test vodivého propojení
Isolační úroveň	60 V _{ss} /20 V _{st} , měřicí kategorie I ³⁰
Propojovací konektory	Zdíčky pro banánky 4 mm
Rozlišení	3,5 digitu
Vstupní vazba	Stejnoseměrná (ss napětí, ss proud, odpor, diodový test, test vodivosti); střídavá (st napětí, st proud)

Tab. 9. Všeobecné technické parametry číslicového multimetru měřicího rozhraní NI myDAQ

Funkce	Rozsah	Rozlišení	Přesnost ($\pm\%$ čtení + offset)	
Stejnoseměrné napětí (vst. odpor 10 M Ω)	200,0 mV	0,1 mV	0,5 % + 0,2 mV	
	2,000 V	0,001 V	0,5 % + 2 mV	
	20,00 V	0,01 V	0,5 % + 20 mV	
	60,0 V	0,1 V	0,5 % + 200 mV	
Střídavé napětí (vst. impedance 10 M Ω)			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	200,0 mV	0,1 mV	1,4 % + 0,6 mV ³¹	–
	2,000 V	0,001 V	1,4 % + 0,005 V	5,4 % + 0,005 V
	20,00 V	0,01 V	1,5 % + 0,05 V	5,5 % + 0,05 V
Stejnoseměrný proud (jištěno tavnou pojistkou F 1,25 A/250 V)	20,00 mA	0,01 mA	0,5 % + 0,03 mA	
	200,0 mA	0,1 mA	0,5 % + 0,3 mA	
	1,000 A	0,001 A	0,5 % + 3 mA	
Střídavý proud (jištěno tavnou pojistkou F 1,25 A/250 V)			40 – 400 Hz	400 – 2 000 Hz
	20,00 mA	0,01 mA	1,4 % + 0,06 mA	5 % + 0,06 mA
	200,0 mA	0,1 mA	1,5 % + 0,8 mA	5 % + 0,8 mA
	1,000 A	0,001 A	1,6 % + 6 mA	5 % + 6 mA
Odpor	200,0 Ω	0,1 Ω	0,8 % + 0,3 Ω (bez přívodních vodičů)	
	2,000 k Ω	0,001 k Ω	0,8 % + 3 Ω	
	20,00 k Ω	0,01 k Ω	0,8 % + 30 Ω	
	200,0 k Ω	0,1 k Ω	0,8 % + 300 Ω	
	2,000 M Ω	0,001 M Ω	0,8 % + 3 k Ω	
	20,00 M Ω	0,01 M Ω	1,5 % + 50 k Ω	
Napětí na přechodu p-n	2 V			

Tab. 10. Podrobné technické parametry číslicového multimetru zařízení NI myDAQ

²⁹ Všechny údaje uvedené v tab. 10 pro střídavá měření se v souladu s technickým manuálem výrobce uvažují jako efektivní hodnoty sinusového průběhu signálu (tzv. RMS hodnoty).

³⁰ Výrobce v technickém manuálu důrazně upozorňuje, že zařízení myDAQ nesmí být připojováno k signálům či používáno k měření signálů, které spadají do bezpečnostní kategorie II, III nebo IV. Pro více technických informací viz kapitolu „Safety Voltages“ v technickém manuálu *NI myDAQ specifications*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 10.

³¹ Podle technického manuálu výrobce platí přesnost na střídavém rozsahu 200 mV pro kmitočtový rozsah od 40 Hz do 100 Hz.

2.2 Spolupráce zařízení NI myDAQ se simulačním prostředím National Instruments Multisim

Simulace je jedním z důležitých směrů využití výpočetní techniky. Počítačem se provádí simulace fyzikálních veličin a dějů. V elektronice simulujeme chování elektronických obvodů. Počítačová simulace v současnosti v řadě případů nahrazuje zdlouhavé měření v elektrotechnické laboratoři. Uživatel simulačního programu si však musí být vědom toho, že simulace činnosti obvodů je vždy pouze jistým přiblížením se ke skutečnému chování obvodů a nesmí jí bezmezně důvěřovat. Pro porovnání simulovaného a reálného chování elektronických součástek a obvodů se velmi dobře hodí právě měřicí rozhraní NI myDAQ.

Měřicí rozhraní NI myDAQ je určeno pro spolupráci se simulačním programem NI Multisim s nadstavbou NI LabVIEW. Simulační program Multisim od firmy National Instruments je v současnosti jeden z nejrozšířenějších programů pro simulaci činnosti elektronických obvodů. Program Multisim navazuje na nejdéle se rozvíjející simulační program SPICE.³²

Simulační program Multisim firmy National Instruments (dříve vývoj spadal pod firmu Electronic Workbench) je elektronická laboratoř v počítači pro analogovou a číslicovou analýzu nakresleného elektronického obvodu. Spolu s měřicím rozhraním myDAQ a ELVIS/ELVIS II je to výborný pomocník pro vývoj a výuku principů činnosti elektronických obvodů. Multisim má jednoduché ovládání a podporuje velké množství různých druhů obvodových analýz. V Multisimu lze nakreslit schématické zapojení obvodu a připojit k němu různé měřicí přístroje: voltmetr, ampérmetr, wattmetr, číslicový multimetr, funkční generátor, dvoukanálový a čtyřkanálový osciloskop, Bodeho zapisovač, číslicový generátor slov, šestnáctikanálový logický analyzátor, logický konvertor, měřič zkreslení, spektrální analyzátor a síťový analyzátor (analyzátor vf obvodů). Tyto přístroje jsou součástí programu Multisim a plně odpovídají skutečným přístrojům. Multisim umožňuje provádět měření ve vybraných uzlech nakresleného obvodu a průběhy veličin zobrazit v grafické podobě. Díky použitému principu měření umožňuje Multisim provádět simula-

³² Simulační program SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis – simulační program se zabudovanou obvodovou analýzou) byl vyvinut r. 1973 na universitě v Berkeley (USA) a kódován byl ve Fortranu. Poněvadž byl výzkumný projekt financován federální vládou, byly zdrojové kódy poskytnuty volně k použití. Dnes vývoj spadá pod firmu OrCAD, Inc. Varianta SPICE je určena pro sálové a střediskové počítače se systémem UNIX, varianta PSPICE (poprvé představena r. 1984) je určena pro práci na osobních mikropočítačích IBM-PC kompatibilních.

ci na analogových i číslicových obvodech najednou. Počet vložených měřicích přístrojů není omezen.

Součástí programu Multisim je knihovna matematických modelů součástek se všemi potřebnými parametry pro analýzu obvodů. K dispozici je mnoho tisíc modelů. Většinu modelů má uživatel možnost dodatečně upravit. Dokonce má uživatel možnost si vytvořit vlastní součástku ve formě podobvodu (subcircuit) a tento uložit do knihovny.

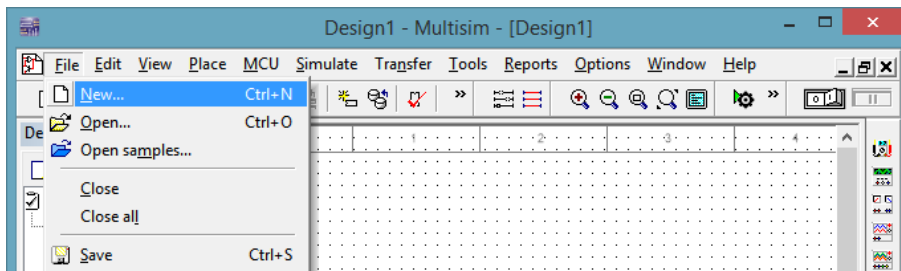
Multisim využívá pro měření 32bitového A/D simulátoru SPICE/XSPICE a volitelných modulů VHDL a Verilog. Pro analogové obvody jsou použity simulační algoritmy SPICE, pro číslicové obvody algoritmy simulátoru Native. Z nakresleného schématu je možno přímo přejít na návrh plošného spoje v programu Ultiboard. Návaznost na jiné programy je zajištěna pomocí převodníku dat pro import a export SPICE netlistu a pro export netlistu nakresleného zapojení do vybraných návrhových systémů plošných spojů (Eagle, Orcad aj.), výsledky analýzy je možné exportovat do programu Mathcad a Excel. Výhodou programu Multisim je velké množství dostupných virtuálních měřicích přístrojů, s nimiž lze jednoduše zobrazovat průběhy signálů v navržených obvodech.³³

Pro spolupráci simulačního programu NI Multisim s měřicím rozhraním NI myDAQ je potřeba nainstalovat obslužný software z disku DVD, který je součástí originálního balení zařízení myDAQ. Z disku musíme nainstalovat program „NI Multisim 13.0 myDAQ“ s virtuálním přístrojem „NI ELVISmx Digital Multimeter“. Pokud plánujeme využívat při měření se zařízením NI myDAQ i virtuální přístroje mimo základní nabídku rozhraní myDAQ, musíme si z disku DVD doinstalovat program „NI LabVIEW 2014 (32-bit)“.³⁴

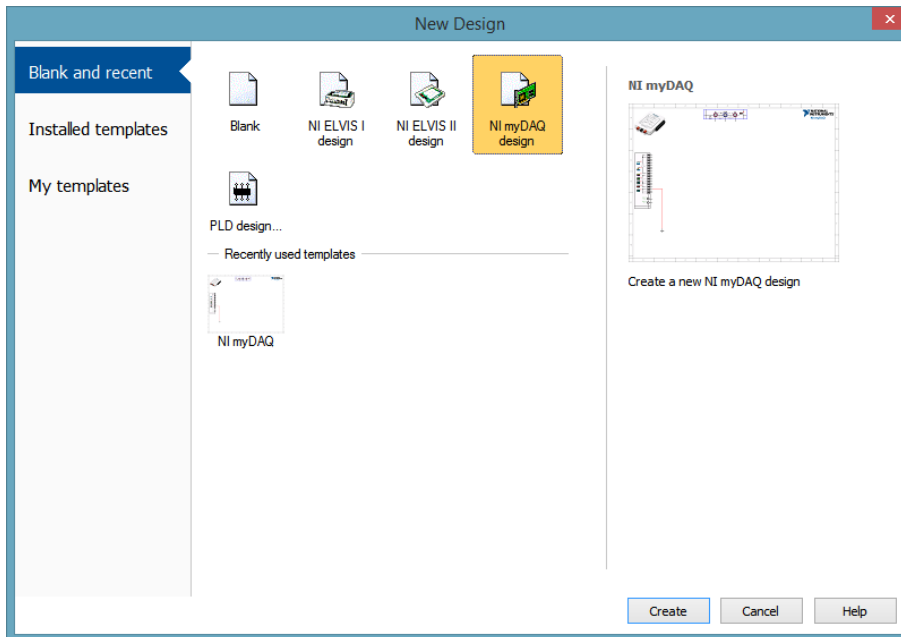
Pokud chceme zahájit vlastní návrh, simulaci a měření elektronického obvodu, musíme spustit program „NI Multisim 13.0 myDAQ“. Po spuštění programu Multisim vybereme položky **File** → **New** → **NI myDAQ Design** → **Create**. Postup je demonstrován na následujících obrázcích (obr. 13 až 15).

³³ Bližší popis dostupných měřicích přístrojů najde čtenář ve 4. kapitole s názvem „Měřicí přístroje a jejich popis“ v knize Juránek, A.: *MultiSIM: Elektronická laboratoř na PC*. BEN – technická literatura, Praha 2008, str. 45 nn. ISBN 978-80-7300-194-0.

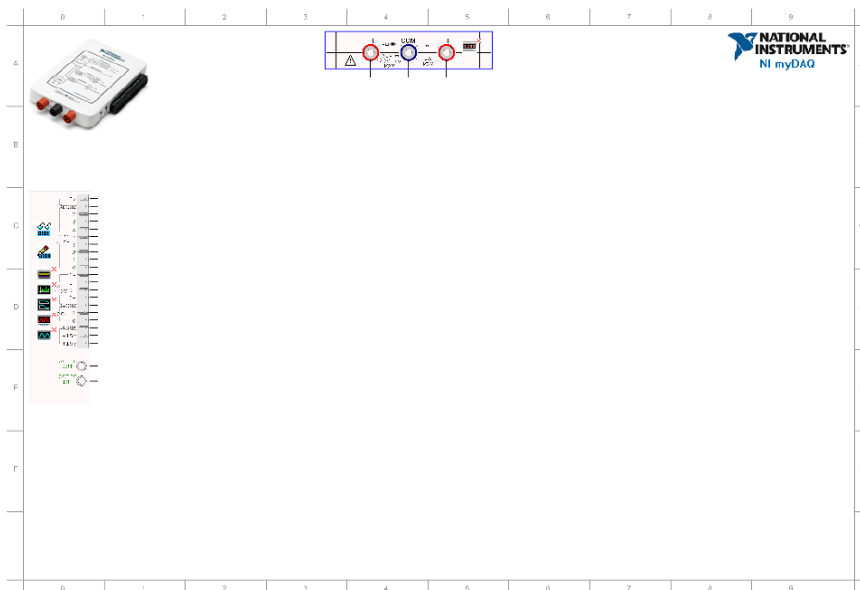
³⁴ Autor milého čtenáře upozorňuje, že zde popisuje zařízení National Instruments myDAQ edice 2014.



Obr. 13. Postup vytvoření nového projektu se zařízením NI myDAQ – krok č. 1

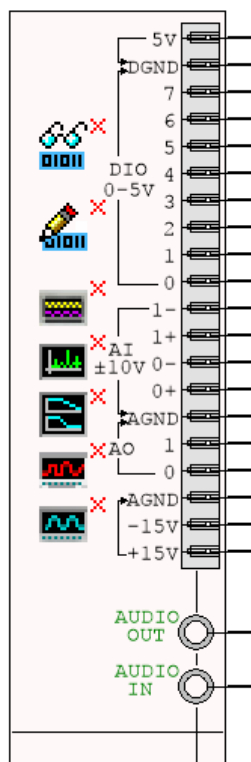


Obr. 14. Postup vytvoření nového projektu se zařízením NI myDAQ – krok č. 2



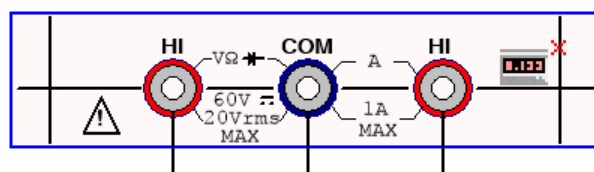
Obr. 15. Nově založená pracovní plocha pro práci s rozhraním NI myDAQ

Na nově založené pracovní ploše (obr. 15) můžeme vytvářet elektrické schéma zkoumaného obvodu stejným způsobem, jak jsme zvyklí při běžné práci v programu Multisim. Na levé straně ohraničené pracovní plochy simulačního prostředí se nachází panel (obr. 16), který představuje postranní řadový konektor a audiokonektory reálného zařízení NI myDAQ.



Obr. 16. Panel zpodobňující postranní řadový konektor a audiokonektory měřicího rozhraní NI myDAQ

Uvnitř panelu zařízení NI myDAQ (obr. 16) se nachází ikony jednotlivých měřicích přístrojů, které zařízení myDAQ podporuje. Dále se v horní části pracovní plochy (viz obr. 15) nachází další panel (obr. 17) zobrazující zdířky pro sondy číslicového multimetru zařízení myDAQ. Uvnitř tohoto panelu je i ikona multimetru.



Obr. 17. Panel zpodobňující zdířky číslicového multimetru měřicího rozhraní NI myDAQ

Pokud chceme otevřít menu měřicího přístroje myDAQ, v němž můžeme nastavovat parametry přístroje, sledovat průběhy měřených signálů a dále s nimi pracovat, musíme dvakrát poklepat na příslušnou ikonu přístroje.

Měřicí přístroje dostupné v zařízení NI myDAQ:

- 1) Číslicový multimetr (NI ELVIS Digital Multimeter).
- 2) Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader).
- 3) Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer).
- 4) Dvoukanálový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope).
- 5) Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer).
- 6) Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer).
- 7) Funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator).
- 8) Generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator).

U každého měřicího přístroje zařízení NI myDAQ si uživatel může zvolit, zda chce činnost obvodu s měřicími přístroji simulovat a získávat tak data z obvodu vytvořeného na pracovní ploše programu Multisim, nebo provádět reálné měření pomocí rozhraní myDAQ a získávat tak data ze skutečného obvodu připojeného k zařízení myDAQ. Získaná data (simulovaná a z on-line měření) lze posléze mezi sebou porovnávat a sledovat rozdíly mezi teorií, simulací a skutečností.

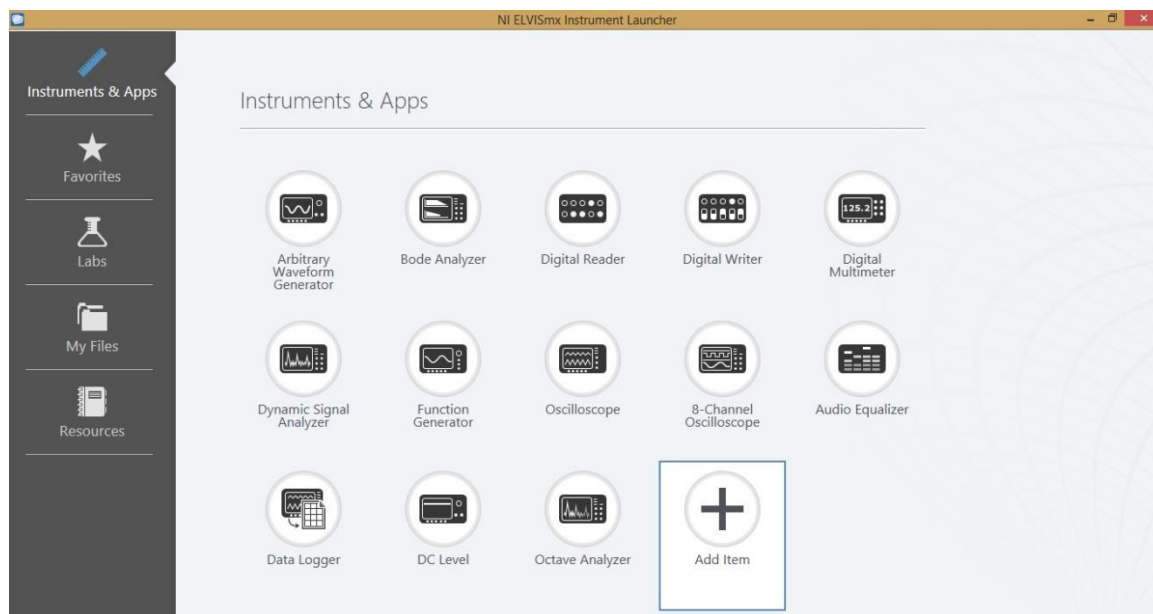
2.3 Měřicí přístroje dostupné v zařízení National Instruments myDAQ

Program NI ELVISmx Instrument Launcher poskytuje přístup k NI ELVISmx virtuálním měřicím přístrojům, dalším vytvořeným přístrojům, laboratorním úlohám, dokumentaci a on-line zdrojovým linkům, datům a referenčním souborům. Po spuštění NI ELVISmx Instrument Launcher se otevře sestava NI ELVISmx virtuálních měřicích přístrojů (viz obr. 18).

Pokud chceme spustit určitý měřicí přístroj NI ELVISmx, musíme poklepat na ikonu odpovídající zvolenému měřicímu přístroji. Dále musíme vybrat NI myDAQ zařízení v nabídce spuštěného NI ELVISmx přístroje.

Některé měřicí přístroje provádějí měření s využitím stejných zdrojů hardware NI myDAQ, proto je nelze spustit současně. Pokud tyto měřicí přístroje přesto spustíme

současně, software NI ELVISmx vygeneruje chybový dialog s popisem kolise. Kolidující přístroj bude blokován a nebude fungovat, dokud nebude kolise vyřešena.³⁵



Obr. 18. Úvodní obrazovka programu NI ELVISmx Instrument Launcher

2.3.1 Číslicový multimetr (NI ELVIS Digital Multimeter)

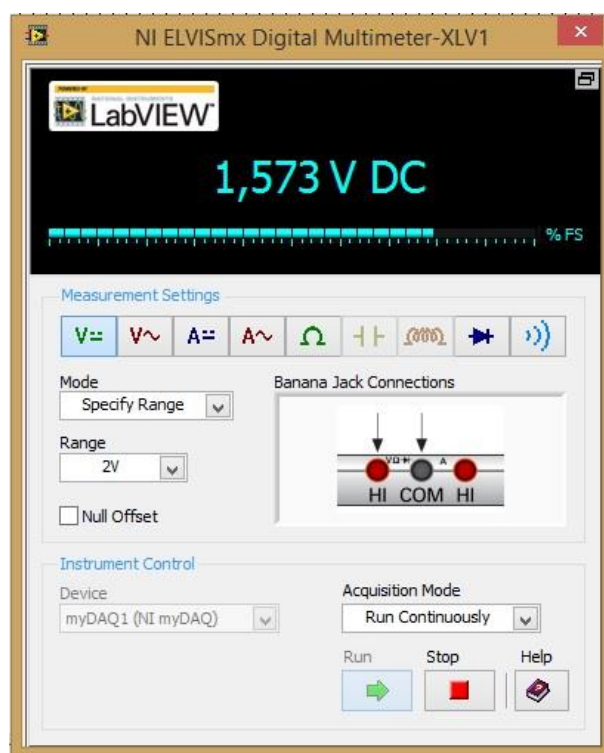
NI ELVISmx Digital Multimeter (DMM) je samostatný měřicí přístroj mající vlastnosti číslicového multimetru. Přístroj umožňuje:

- měření stejnosměrného a střídavého napětí;
- měření stejnosměrného a střídavého proudu;
- měření elektrického odporu;
- diodový test;
- zvukovou signalizaci vodivého spojení.

³⁵ Podrobný popis zdrojů konfliktů mezi měřicími přístroji NI ELVISmx viz kapitolu „Resource Conflicts“ v technickém manuálu *NI myDAQ User Guide*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014, str. 35 n., zejména viz tab. 6.

Pokud chceme s přístrojem DMM měřit, musíme v programu NI Multisim propojit příslušné svorky panelu přístroje DMM s měřeným obvodem. Číslicový multimetr DMM má následující parametry:

- *Steady-state voltage*: rozsahy 60 V, 20 V, 2 V, 200 mV.
- *Střídavé napětí*: rozsahy 20 V, 2 V, 200 mV.
- *Steady-state current*: rozsahy 1 A, 200 mA, 20 mA.
- *Střídavý proud*: rozsahy 1 A, 200 mA, 20 mA.
- *Elektrický odpor*: rozsahy 20 MΩ, 2 MΩ, 200 kΩ, 20 kΩ, 2 kΩ, 200 Ω.
- *Diody*: rozsah 2 V.
- *Rozlišení (počet zobrazovaných míst displeje)*: 3,5.



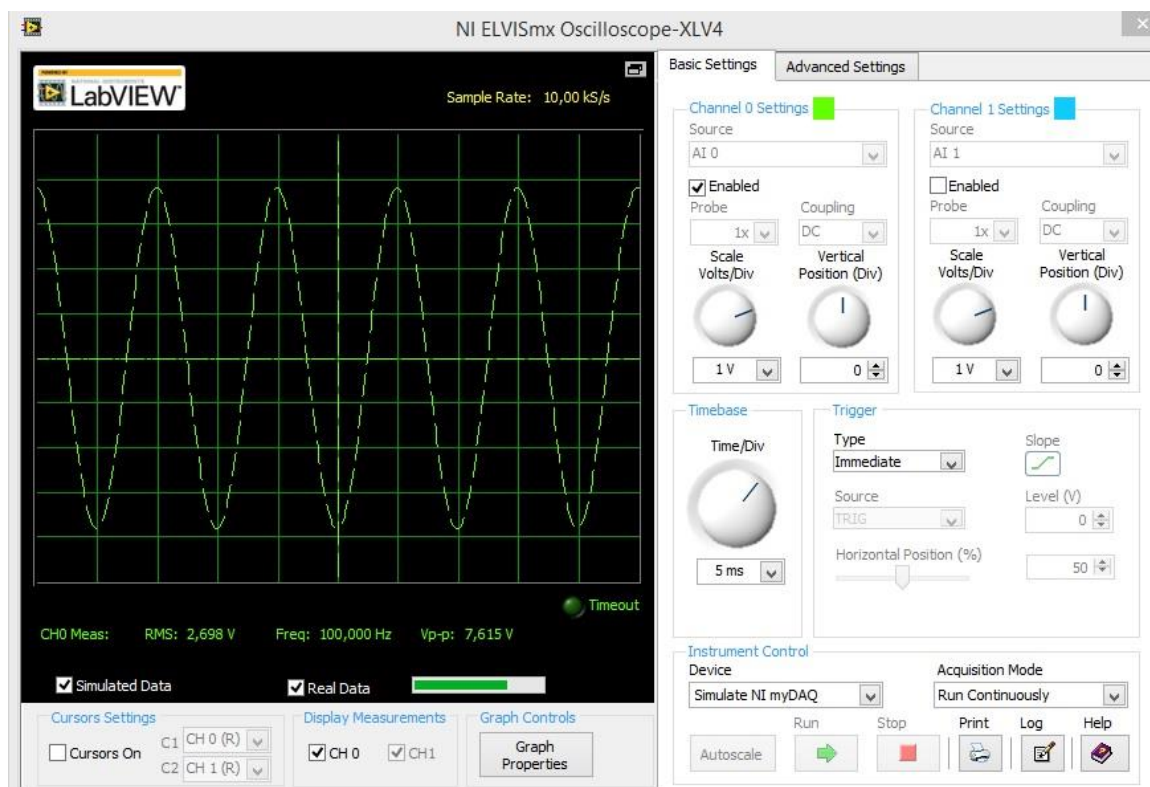
Obr. 19. Číslicový multimetr (NI ELVISmx Digital Multimeter)

2.3.2 Dvoukanálový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope)

Osciloskop *NI ELVISmx Oscilloscope (Scope)* zobrazuje data napěťových signálů. Tento přístroj svou funkcí odpovídá standardnímu osciloskopu známému z mnoha středoškolských laboratoří. NI ELVISmx osciloskop má dva kanály, umožňuje nastavení citlivosti jednotlivých kanálů, umožňuje polohování jednotlivých kanálů na obrazovce

přístroje, má nastavitelnou časovou základnu. Funkce Autoscale umožňuje nastavit měřítko zobrazení napětí na optimální úroveň. Pro odměřování parametrů signálů můžeme využívat zabudované kursory. Osciloskop NI ELVISmx má následující parametry:

- *Zdroje měřeného napětí:* Kanál AI 0 a AI 1, levý a pravý audiovstup. Lze měřit buď AI kanály, nebo audiovstupy; nelze měřit kombinace AI a audiovstupů.
- *Vazba:* Kanály AI podporují pouze stejnosměrnou vazbu. Audiovstupy podporují pouze střídavou vazbu.
- *Nastavení citlivosti kanálů:* AI kanály – 5 V/d, 2 V/d, 1 V/d, 500 mV/d, 200 mV/d, 100 mV/d, 50 mV/d, 20 mV/d, 10 mV/d. Audiovstupy – 1 V/d, 500 mV/d, 200 mV/d, 100 mV/d, 50 mV/d, 20 mV/d, 10 mV/d.
- *Vzorkovací rychlost:* Max. vzorkovací rychlost pro AI a audiokanály je 200 kSa/s.
- *Časová základna:* Dostupné rychlosti pro oba AI a audiokanály jsou od 200 ms/d do 5 μ s/d.
- *Spouštění časové základny:* Je podporováno tzv. bezprostřední spouštění a spouštění hranou.

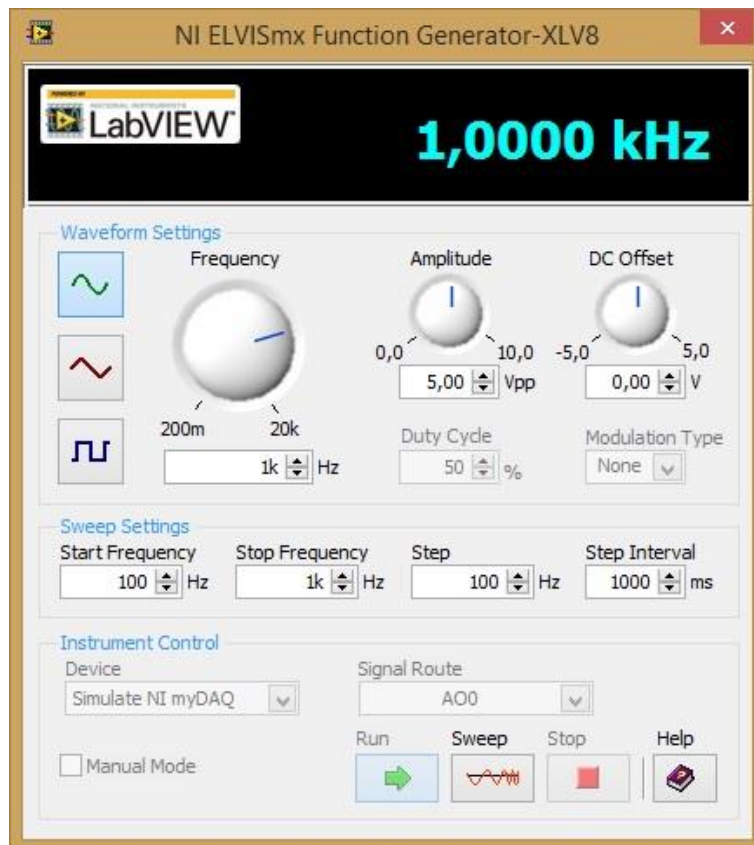


Obr. 20. Dvoukanalový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope)

2.3.3 Funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator)

Funkční generátor *NI ELVISmx Function Generator (FGEN)* generuje standardní průběhy výstupních signálů s možností nastavení tvaru výstupního signálu (sinusový, obdélníkový, trojúhelníkový průběh), hodnoty rozkmitu a kmitočtu³⁶. Dále uživatel může volit stejnosměrný posuv generovaného signálu, přídavné rozmitání kmitočtu, amplitudovou či kmitočtovou modulaci. Funkční generátor FGEN generuje signál na výstupu AO 0 nebo AO 1. Přístroj FGEN má tyto parametry:

- *Výstupní kanál:* AO 0 nebo AO 1.
- *Kmitočtový rozsah:* 200 mHz až 20 kHz.
- *Tvar výstupního signálu:* sinusový, obdélníkový, trojúhelníkový.
- *Modulace:* amplitudová (AM), kmitočtová (FM).
- *Možnosti nastavení generovaného signálu:* amplituda, kmitočet, ss posun, rozmitání kmitočtu, AM/FM modulace.



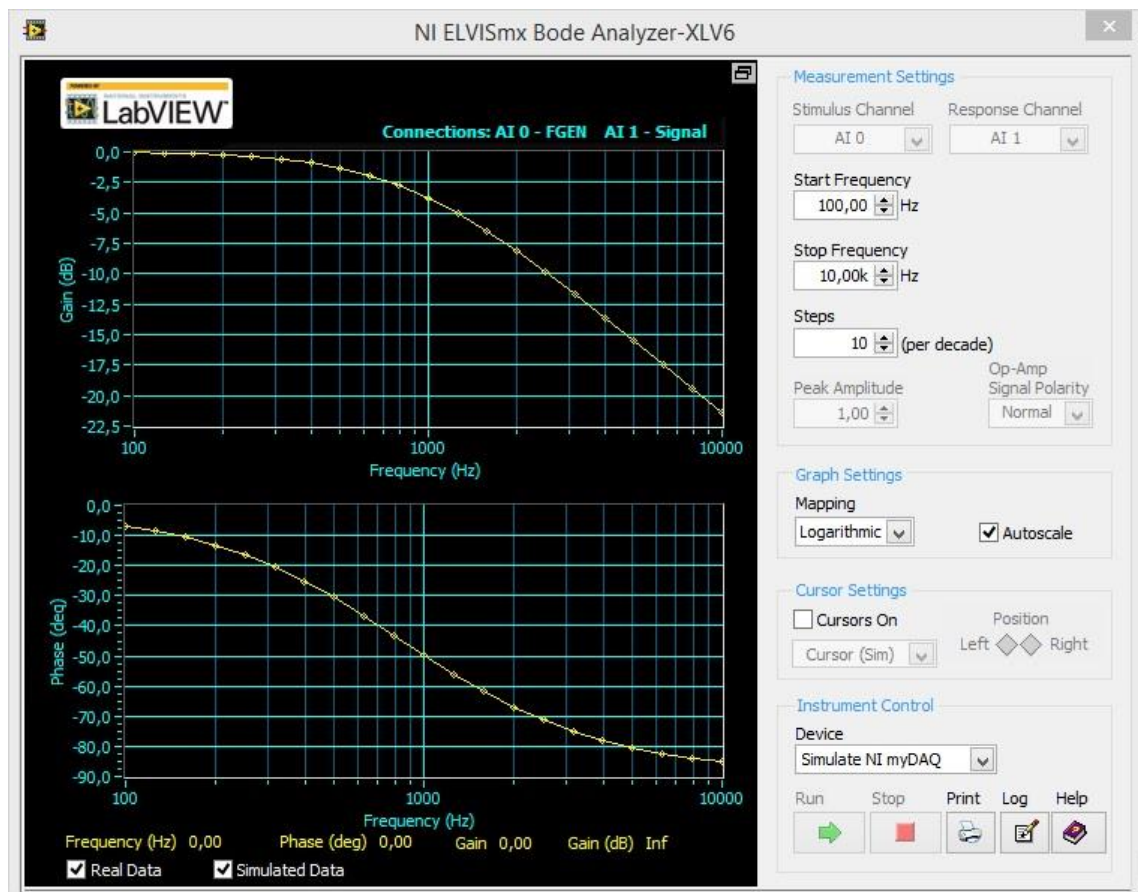
Obr. 21. Funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator)

³⁶ Popis vlastností funkčního generátoru NI ELVISmx najde čtenář též v článku Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 59. ISSN 1804-4891.

2.3.4 Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer)

Přístroj *NI ELVISmx Bode Analyzer* představuje Bodeho zapisovač. Kombinuje rozmítaný funkční generátor a analogový vstup zařízení. Uživatel v přístroji nastavuje kmitočtový rozsah analyzy a volí mezi lineárním a logaritmickým zobrazením kmitočtové osy. Dále máme možnost invertovat polaritu Op-Amp signálu při on-line měření s připojeným zařízením NI myDAQ. Přístroj NI ELVISmx Bode Analyzer má následující měřicí parametry:

- *Vstupní měřicí kanál (snímání stimulů):* AI 0.
- *Výstupní měřicí kanál (snímání odezev):* AI 1.
- *Zdroj signálových stimulů:* AO 0.
- *Kmitočtový rozsah:* 1 Hz až 20 kHz.

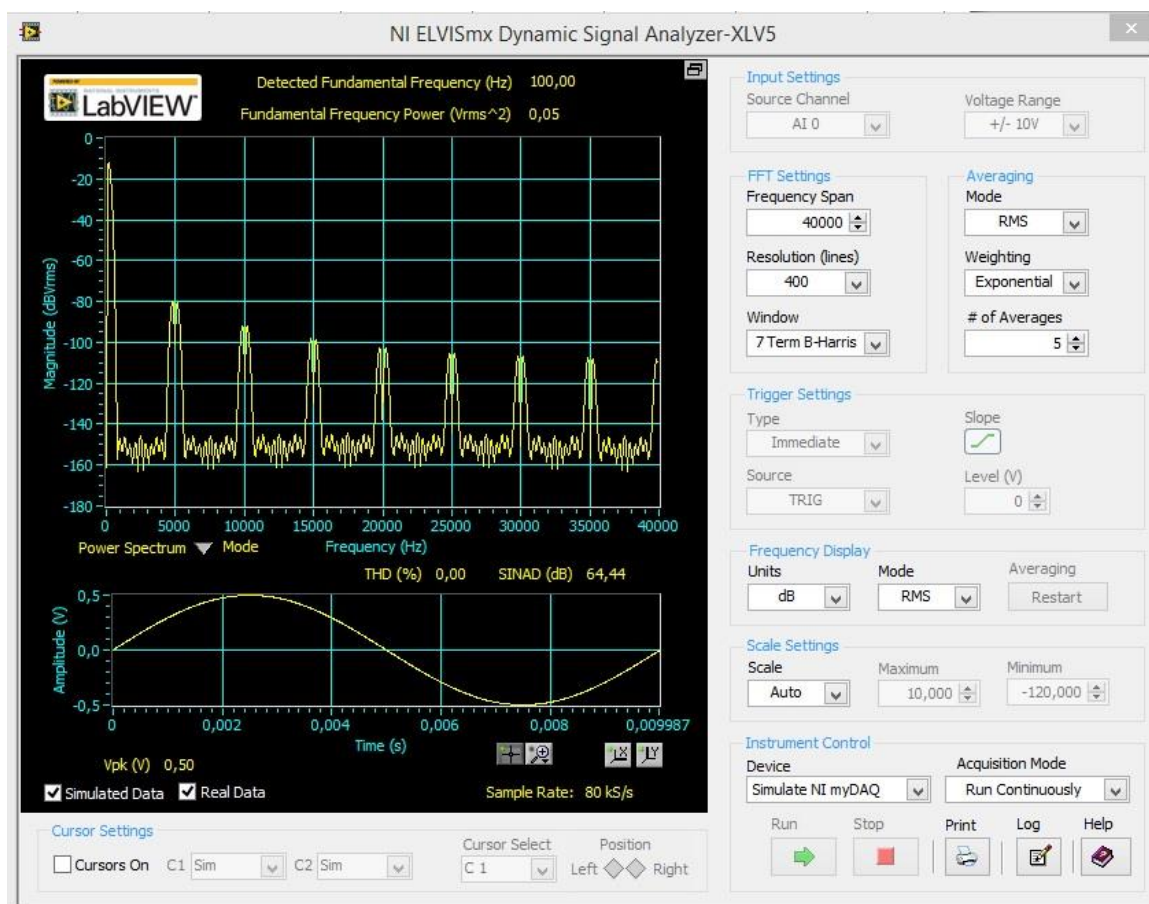


Obr. 22. Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer)

2.3.5 Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer)

Přístroj *NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer (DSA)* provádí kmitočtovou transformaci měřeného průběhu získávaného z analogového vstupu AI nebo audiovstupu.³⁷ Měření může být prováděno kontinuálně, nebo je možno provést pouze jeden odměr. Uživatel má možnost volit v nabídce přístroje různé druhy kmitočtových oken a filtrování měřeného signálu. Přístroj DSA má následující parametry:

- *Měřený kanál (zdroj analysovaného signálu):* AI 0 a AI 1, levý a pravý audiovstup.
- *Napěťový rozsah:*
 - pro analogové AI kanály: ± 10 V, ± 2 V;
 - pro audiokanály: ± 2 V.



Obr. 23. Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer)

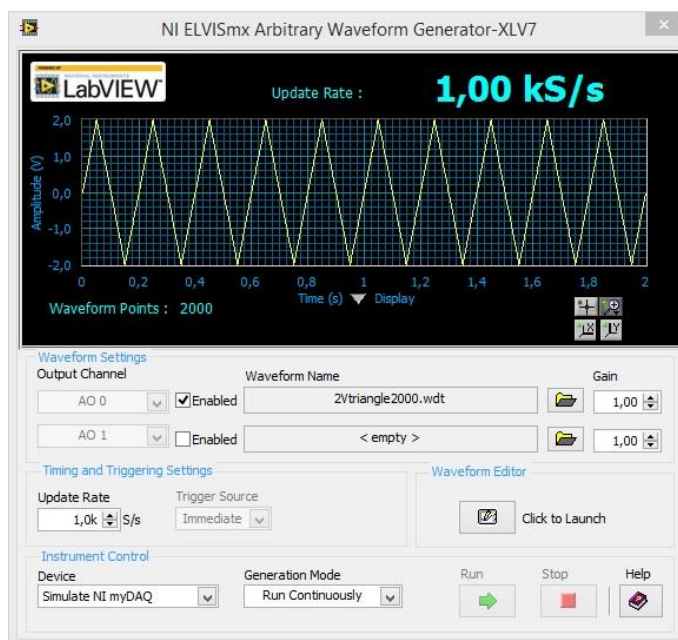
³⁷ Popis vlastností spektrálního analyzátoru NI ELVISmx najde čtenář též v článku Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 58 n. ISSN 1804-4891.

2.3.6 Generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator)

Generátor programovatelných průběhů *NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator (ARB)* generuje signál, jehož časový průběh si uživatel naprogramuje jako elektrický signál na displeji přístroje.³⁸ Tento pokročilý virtuální přístroj využívá schopnosti analogových výstupů AO zařízení NI myDAQ. Uživatel může vytvářet různé typy signálů pomocí software Waveform Editor, který je součástí software NI ELVISmx. Uživatel má možnost vložit křivky vytvořené pomocí NI Waveform Editor do přístroje NI ELVISmx ARB a nechat je přístrojem ARB generovat.

Poněvadž přístroj ARB má dva analogové výstupy AO a dva audiovýstupy, lze generovat současně i dva průběhy. Uživatel má možnost si vybrat buď nepřetržitý provoz generátoru ARB, nebo jednorázové spuštění. Generátor ARB má následující měřicí parametry:

- *Výstupní kanály*: AO 0 a AO 1, levý a pravý audiovýstup; lze využívat analogové výstupy AO nebo audiovýstupy, nelze je však kombinovat navzájem.
- *Zdroje spouštění (triggering)*: Pouze bezprostřední spouštění. Uživatel nemá možnost toto nastavení změnit.



Obr. 24. Generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator)

³⁸ Popis vlastností generátoru programovatelných průběhů NI ELVISmx najde čtenář též v článku Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 57 n. ISSN 1804-4891.

2.3.7 Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader)

Osmikanálová logická sonda *NI ELVISmx Digital Reader* čte digitální data z digitálních linek DIO 0 až DIO 7 zařízení NI myDAQ.³⁹ Přístroj NI ELVISmx Digital Reader seskupuje čtené vstupně-výstupní linky do jednoho osmibitového portu, pomocí kterého lze data číst. Uživatel může zjišťovat stav portu buď kontinuálně, nebo jednorázově. Vstupně-výstupní linky jsou seskupeny buď do dvou čtyřbitových portů (linky 0 až 3, linky 4 až 7), nebo do jednoho osmibitového portu (linky 0 až 7).



Obr. 25. Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader)

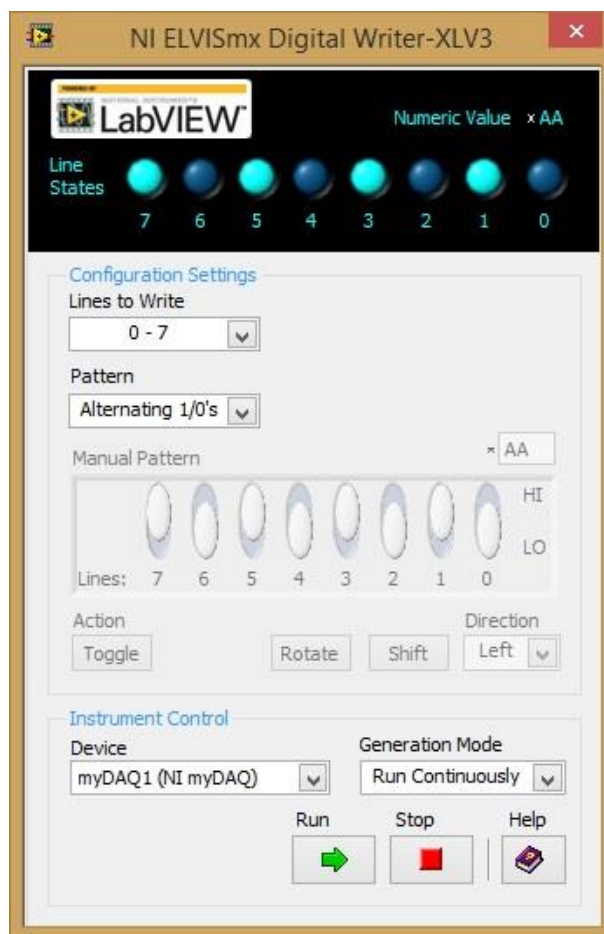
2.3.8 Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer)

Datový generátor NI ELVISmx Digital Writer aktualizuje digitální linky DIO 0 až DIO 7 podle logických stavů zadaných uživatelem.⁴⁰ Přístroj NI ELVISmx Digital Writer seskupuje nastavované vstupně-výstupní linky DIO 0 až DIO 7 portu, pomocí kterého uživatel provádí zápis logických hodnot do konkrétních digitálních linek. Uživatel může zapsat buď čtyřbitový údaj (linky 0 až 3, linky 4 až 7), nebo osmibitový údaj (linky

³⁹ Popis vlastností logické sondy NI ELVISmx najde čtenář též v článku Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 57. ISSN 1804-4891.

⁴⁰ Popis vlastností datového generátoru NI ELVISmx najde čtenář též v článku Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 57. ISSN 1804-4891.

0 až 7). Je možnost také ručně vytvořit nastavovaná bitová slova či si vybrat předdefinovaná bitová slova, přepínání logického stavu zvolené skupiny digitálních linek, čítání, nebo posun/rotaci bitů s časovým krokem 1 s. Datový generátor může nastavovat buď čtyři, nebo osm bitů portu, a to buď kontinuálně, nebo jednorázově. Výstup datového generátoru zůstává zmrazen do té doby, dokud není provedeno nastavení odlišného bitového slova, nebo není provedeno vypnutí a znovuzapnutí zařízení NI myDAQ.



Obr. 26. Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer)

3. Zařazení rozhraní National Instruments myDAQ do výuky na střední odborné škole

Měřicí rozhraní National Instruments myDAQ je vhodné pro zařazení do výuky elektrotechnických měření pro 3. a 4. ročník maturitních oborů. Ve třetím ročníku je vhodné rozhraní myDAQ využívat k výuce měření základních parametrů elektronických součástek a základních analogových elektronických obvodů. Ve čtvrtém ročníku je vhodné rozhraní myDAQ využívat i k měření a diagnostice v číslicové technice. V následujících kapitolách autor rozebírá možnost zařazení rozhraní NI myDAQ do výuky.

3.1 Kompetence absolventa elektrotechniky na VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí využívané v předmětu Elektrotechnická měření⁴¹

Vzdělávání žáků v předmětu Elektrotechnická měření směřuje k tomu, aby si žáci vytvořili, v souladu se seznamem kompetencí absolventa oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika, následující klíčové a odborné kompetence:

1) Klíčové kompetence

a. Kompetence k učení ... vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni efektivně se učit, vyhodnocovat dosažené výsledky a pokrok a reálně si stanovovat potřeby a cíle svého dalšího vzdělávání. Pro výuku předmětu elektrotechnická měření jsou nejpodstatnější následující kompetence:

- Různá práce s textem, schopnost žáků umět efektivně vyhledávat a zpracovávat informace; být čtenářsky gramotný.
- Žák využívá ke svému učení různé informační zdroje včetně zkušeností svých i jiných lidí.

b. Kompetence k řešení problémů ... vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni řešit samostatně běžné pracovní i mimopracovní problémy. Pro předmět elektrotechnická měření jsou nejpodstatnější následující kompetence:

⁴¹ Následující text vychází z rozboru veřejně přístupného rámcového vzdělávacího programu VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí v oboru 26-41-M/01 *Elektrotechnika*, na kterém spolupracoval autor této práce s kolegy z úseku elektrotechniky, elektroniky a automatizace. Jelikož je následující výčet a popis kompetencí obsažen již v autorově předešlé bakalářské práci, je text podstatně zestručněn. Blíže viz kvalifikační práci Hospodářský, M. V.: *Vyučovací metody a jejich aplikace v podmínkách středního odborného školství*. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice 2013, str. 37 nn.

- Žák umí porozumět zadání úkolu nebo určit jádro problému, získat informace potřebné k řešení problému, navrhnout způsob řešení, popř. varianty řešení, a zdůvodnit jej, vyhodnotit a ověřit správnost zvoleného postupu a dosažené výsledky.
 - Žák uplatňuje při řešení problémů různé metody myšlení (logické, matematické, empirické) a myšlenkové operace.
 - Žák volí prostředky a způsoby (pomůcky, studijní literaturu, metody a techniky) vhodné pro splnění jednotlivých aktivit, využívá zkušeností a vědomostí nabytých dříve.
 - Žák spolupracuje při řešení problémů s jinými lidmi (týmové řešení).
- c. *Komunikativní kompetence* ...** vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni vyjadřovat se v písemné i ústní formě v různých učebních, životních i pracovních situacích. Kompetence využitelné při výuce elektrotechnických měření:
- Žák formuluje své myšlenky srozumitelně a souvisle, v písemné podobě přehledně a jazykově správně.
 - Žák se účastní aktivně diskusí, formuluje a obhajuje své názory a postoje.
 - Žák zpracovává administrativní písemnosti, pracovní dokumenty i souvislé texty na odborná témata.
 - Žák dodržuje jazykové a stylistické normy i odbornou terminologii.
 - Žák zaznamenává písemně podstatné myšlenky a údaje z textů a projevů jiných lidí (přednášek, diskusí, porad apod.).
- d. *Personální a sociální kompetence* ...** vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli připraveni stanovovat si na základě poznání své osobnosti přiměřené cíle osobního rozvoje v oblasti zájmové i pracovní, pečovat o své zdraví, spolupracovat s ostatními a přispívat k utváření vhodných mezilidských vztahů. Pro předmět elektrotechnická měření jsou využitelné následující kompetence:
- Žák reaguje adekvátně na hodnocení svého vystupování a způsobu jednání ze strany jiných lidí, přijímá radu i kritiku.
 - Žák pracuje v týmu a podílí se na realizaci společných pracovních činností.
 - Žák přijímá a plní zodpovědně svěřené úkoly.
 - Žák přispívá k vytváření vstřícných mezilidských vztahů a k předcházení osobním konfliktům, nepodléhá předsudkům a stereotypům v přístupu k druhým.

e. Matematické kompetence ... vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi byli schopni funkčně využívat matematické dovednosti v různých životních situacích.

V předmětu elektrotechnická měření lze využít následujících kompetencí:

- Žák správně používá a převádí fyzikální jednotky.
- Žák provádí reálný odhad výsledku řešení dané úlohy.
- Žák nachází vztahy mezi jevy a předměty při řešení praktických úkolů, umí je vymezit, popsat a správně využít pro dané řešení.
- Žák čte a vytváří různé formy grafického znázornění (tabulky, diagramy, grafy, schémata apod.).

f. Kompetence využívat prostředky informačních a komunikačních technologií a pracovat s informacemi ... vzdělávání směřuje k tomu, aby absolventi pracovali s osobním počítačem a jeho základním a aplikačním programovým vybavením, ale i s dalšími prostředky ICT a využívali adekvátní zdroje informací a efektivně pracovali s informacemi. V předmětu elektrotechnická měření se realizují následující kompetence:

- Žák pracuje s osobním počítačem a dalšími prostředky informačních a komunikačních technologií.
- Žák pracuje s běžným základním a aplikačním programovým vybavením.
- Žák se učí používat nové aplikace.
- Žák získává informace z otevřených zdrojů, zejména pak s využitím celosvětové sítě Internet.

2) Odborné kompetence

a. Uplatňovat zásady normalizace, řídit se platnými technickými normami a graficky komunikovat ... požaduje se, aby absolventi:

- uplatňovali zásady technické normalizace a standardizace při tvorbě technické dokumentace;
- využívali při řešení elektrotechnických úloh normy a další zdroje informací;
- četli a vytvářeli elektrotechnická schémata, grafickou dokumentaci desek plošných spojů aj. produkty grafické technické komunikace používané v elektrotechnice.

b. Provádět elektrotechnické výpočty a uplatňovat grafické metody řešení úloh s využitím základních elektrotechnických zákonů, vztahů a pravidel ... požaduje se, aby absolventi:

- určovali hlavní veličiny proudového pole a tyto znalosti aplikovali při řešení praktických problémů;
- řešili obvody stejnosměrného proudu;
- určovali elektrický indukční tok, elektrickou indukci a intenzitu elektrického pole a zjišťovali základní veličiny magnetického pole;
- řešili obvody střídavého proudu a vytvářeli jejich fázorové diagramy;
- stanovovali elektrické veličiny jednoduchých trojfázových soustav při zapojení do hvězdy a do trojúhelníku a byli seznámeni s problematikou točivého magnetického pole.

c. Měřit elektrotechnické veličiny ... požaduje se, aby absolventi:

- používali měřicí přístroje k měření elektrických parametrů a charakteristik elektrotechnických prvků a zařízení;
- analyzovali a vyhodnocovali výsledky uskutečněných měření a přehledně zpracovávali o nich záznamy;
- využívali výsledků měření pro kontrolu, diagnostiku a zprovoznování elektrotechnických strojů a zařízení.

3.2 Metodika výuky předmětu Elektrotechnická měření

3.2.1 Školní vzdělávací program předmětu Elektrotechnická měření⁴²

V obsahovém okruhu Elektrotechnická měření jsou žáci seznámeni s použitím měřicích přístrojů a měřicích metod při měření elektrotechnických veličin. Žák bude schopen vybrat a použít vhodnou měřicí metodu, příslušný měřicí přístroj a vyhodnotit a využít naměřené výsledky. Skladba obsahového okruhu pro předmět Elektrotechnická měření plně respektuje obsahovou náplň Rámcového vzdělávacího programu.

⁴² Školní vzdělávací program pro předmět Elektrotechnická měření vychází ze schváleného rámcového vzdělávacího programu a je výstupem projektu MŠMT s názvem „Tvorba a ověřování pilotních školních vzdělávacích programů ve vybraných SOŠ a SOU (Pilot S)“. Projekt byl realizován v období od 17. 5. 2005 do 31. 7. 2008. Autor této práce na tomto plánu spolupracoval.

Výsledky vzdělávání	Učivo
<p>Žák:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zvolí vhodný měřicí přístroj na základě znalosti jednotlivých měřicích přístrojů a způsobu jejich funkce; 	<p>1 Měřicí přístroje</p> <ul style="list-style-type: none"> - elektromechanické a elektronické měřicí přístroje; - přístroje pro měření napětí; - osciloskopy; - přístroje pro měření časového intervalu, frekvence; - přístroje pro měření proudu a výkonu; - přístroje pro měření pasivních elektrických veličin; - přístroje na měření parametrů polovodičových součástí aj.
<ul style="list-style-type: none"> - dodržuje bezpečnostní pravidla při práci s měřicími přístroji; - zvolí vhodnou měřicí metodu dle měřeného objektu; - ovládá metody měření základních elektrotechnických veličin; - změří elektrické parametry elektronických obvodů a prvků; 	<p>2 Metody elektrických měření</p> <ul style="list-style-type: none"> - měření napětí, proudu, odporu, kapacity, indukčnosti, impedance, elektrické práce a výkonu aj.; - měření magnetických polí; - měření na elektrických strojích a přístrojích; - měření frekvence a fázového posunu; - měření parametrů elektronických obvodů a prvků.
<ul style="list-style-type: none"> - měří základní neelektrické veličiny; 	<p>3 Měření neelektrických veličin</p>
<ul style="list-style-type: none"> - rozpozná a odstraní případné chyby měřicích přístrojů či měření; - eliminuje měřicí chyby dodržováním zásad správného měření; 	<p>4 Chyby měření</p> <ul style="list-style-type: none"> - chyby měřicích přístrojů; - chyby měřicích metod; - zásady správného měření.
<ul style="list-style-type: none"> - zaznamená a vyhodnotí výsledky uskutečněných měření; - zpracuje výsledky měření do tabulek a grafů; - zpracuje technickou zprávu o měření (protokol o měření). 	<p>5 Zpracování naměřených hodnot</p> <ul style="list-style-type: none"> - zpracování a vyhodnocování výsledků.

Tab. 11. Skladba obsahového okruhu předmětu Elektrotechnická měření

3.2.2 Učební plán oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika

Učební plán oboru vzdělávání 26-41-M/01 *Elektrotechnika* se zaměřením podle školního vzdělávacího plánu *Elektrotechnika – počítače a robotika*, spolu s povolenými úpravami platnými pro školní rok 2016/2017 je uveden v **příloze I**.

3.2.3 Struktura a obsah výukových modulů⁴³

Předmět Elektrotechnická měření se na VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí vyučuje ve 3. a 4. ročníku maturitních oborů se zaměřením na elektrotechniku. Ve třetím ročníku maturitního oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika má předmět dotaci 3 hodiny na týden, tj. za rok celkem 102 vyučovací hodiny (34 vyučovací týdny). Ve čtvrtém ročníku je dotace 3 hodiny na týden, tj. za rok celkem 90 vyučovacích hodin (30 výukových týdnů).

Elektrotechnická měření ve třetím ročníku jsou zaměřena na měření vlastností, chování a parametrů pasivních a aktivních obvodových součástek se zřetelem na současnou teorii měření a současnou systematiku měření. Výuka je rozdělena do následujících šesti výukových modulů:

- 263EMX01SO – Měřicí přístroje;
- 263EMX02SO – Měření RLC;
- 263EMX03SO – Měření obvodů stejnosměrného a střídavého proudu;
- 263EMX04SO – Měření diod;
- 263EMX05SO – Měření tranzistorů;
- 263EMX06SO – Měření tyristorů, diaků a triaků.

Elektrotechnická měření ve čtvrtém ročníku jsou zaměřena na analýsu chování vybraných analogových a číslicových obvodů. Výuka je rozčleněna na pět modulů:

- 263EMX07SO – Měření napájecích obvodů;
- 263EMX08SO – Měření zesilovačů;
- 263EMX09SO – Měření na mikroprocesorových zařízeních;
- 263EMX10SO – Měření neelektrických veličin;
- 263EMX11SO – Měření parametrů spotřební elektroniky.

⁴³ Viz též Hospodářský, M. V.: *Vyučovací metody a jejich aplikace v podmínkách středního odborného školství*. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice 2013, str. 53 nn.

Dále autor uvádí podrobný rozpis obsahu jednotlivých výukových modulů spolu se vstupními požadavky, obsahem probírané látky, očekávanými výstupy a souborem pokrytých cílových a dílčích odborných kompetencí.

Modul:	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE		Kód:	263EMX01SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	20 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	VA/COP	
Vstupní podmínky:	- úspěšné absolvování předmětu Elektrotechnika a Elektronika v rozsahu 3. ročníku COP			

Anotace cíle:	Práce se základními měřicími přístroji. Seznámení se způsobem vyjadřování naměřených hodnot a vytváření protokolů z měření.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: 1) zná základy teorie měření; 2) zná měřicí ústrojí (analogové a elektronické); 3) zvolí vhodný měřicí přístroj, správně zapojí a ovládá měřicí přístroje a vyhodnocuje změřené hodnoty.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - náležitosti protokolu z měření; - druhy chyb měření; - odhad chyby měření dle přesnosti měřicího přístroje; - měření elektrických veličin (U, I, f, střída); - typy analogových (elektromechanických) měřicích ústrojí; - elektronický měřicí přístroje - A/D převodník;
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (zopakování poznatků o elektrických signálech (U, I, f, U_{max} atd.), měřicí přístroje - zdůraznění praktického významu měření a chyby měřicích přístrojů); - řízená diskuse, konzultace; - jednoznačná zadání laboratorních úloh; - samostatné měření (měřicí skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.

Způsob ukončení:	Změření stanoveného počtu úloh, odevzdání příslušných protokolů a písemný test. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1-5. Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 : 40.						
Hodnocení výsledků:	Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td>86 - 100 % ... 1</td> <td>71 - 85 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>56 - 70 % ... 3</td> <td>41 - 55 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 40 % ... 5</td> </tr> </table> Žák:	86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2	56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4		0 - 40 % ... 5
86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2						
56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4						
	0 - 40 % ... 5						
Pro 1. výsledek:	K1.1. – vysvětlí význam chyby v měřicí technice (10%), K1.2. – shrne typy chyb (5%).						

Pro 2. výsledek:	<p>K2.1. – zná dělení měřicích přístrojů (10%), K2.2. – popíše princip základních měřicích přístrojů (10%). K2.3. – je schopen nalézt a pracovat s informacemi o měřicím přístroji (5%), K2.4. – zná vnitřní schéma měřicích přístrojů (15%).</p>
Pro 3. výsledek:	<p>K3.1. – rozpozná jednotlivé typy měřicích přístrojů (5%), K3.2. – správně používá měřicí přístroje (15%), K3.3. – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (10%), K3.4. – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (15%).</p>
Doporučená literatura:	<p>Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí</p> <p>L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i>. Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9</p> <p>KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechnika</i>. Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. ISBN 80-86706-00-1.</p> <p>Další literatura bude doplněna vyučujícím.</p>

Modul:	MĚŘENÍ RLC		Kód:	263EMX02SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	VA/COP	
Vstupní podmínky:	- úspěšné absolvování modulů Elektrotechniky, Elektroniky a modulu „Měřicí přístroje“			

Anotace cíle:	Měření základních pasivních elektronických prvků (R, L, C). Vyhodnocení chyb nepřímého měření. Měření amplitudy, frekvence a fáze (osciloskop).
Předpokládané výsledky studia:	<p>Po absolvování modulu žák:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) používá měřicí RLC můstek a osciloskop; 2) měří a zná princip základních přímých a nepřímých metod měření R, L, C; 3) pracuje s katalogem součástek a vyhodnocuje výsledky měření.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - základní principy přímých a nepřímých metod měření R, L, C; - měření vlastností R, L, C; - aplikace výpočtu chyby nepřímé metody měření; - vlastnosti RLC měřicích můstků; - zapojení měřicích přístrojů; - použití osciloskopu a signálového generátoru pro demonstraci frekvenčních vlastností základních pasivních prvků (parazitní jevy); - seznámení s některými principy neelektrických snímačů.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (zopakování poznatků o pasivních prvcích el. obvodů, zdůraznění praktického významu měření a chyby měření); - řízená diskuse, konzultace; - jednoznačná zadání laboratorních úloh; - samostatné měření (skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.

Způsob ukončení:	Změření stanoveného počtu úloh a odevzdání příslušných protokolů. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1-5. Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 : 40.						
Hodnocení výsledků:	<p>Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">86 - 100 % ... 1</td> <td style="width: 50%;">71 - 85 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>56 - 70 % ... 3</td> <td>41 - 55 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 40 % ... 5</td> </tr> </table> <p>Žák:</p>	86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2	56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4		0 - 40 % ... 5
86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2						
56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4						
	0 - 40 % ... 5						
Pro 1. výsledek:	<p>K1.1 – používá RLC měřicí můstek (10%), K1.2 – používá osciloskop (10%), K1.3 – zná blokové schéma měřicích přístrojů (15%).</p>						

Pro 2. výsledek:	K2.1 – zná princip přímého a nepřímého měření (RLC můstek, V-A) (15%), K2.2 – zná parazitní vlastnosti R, L, C (5%), K2.3 – vyjádří chybu nepřímého měření (5%).
Pro 3. výsledek:	K3.1 – nalezne a pracuje s informacemi o měřicím přístroji (5%), K3.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (15%), K3.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i> . Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9 KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechnika</i> . Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. 225-242s. ISBN 80-86706-00-1. Další literatura bude doplněna vyučujícím.

Pro 3. výsledek:	K3.1 – změní vlastnosti střídavých el. obvodů (20%), K3.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (15%), K3.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i> . Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9 KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechnika</i> . Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. 225-242s. ISBN 80-86706-00-1. Další literatura bude doplněna vyučujícím.

Pro 3. výsledek:	K3.1 – změní vlastnosti el. obvodů s diodami (20%), K3.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (15%), K3.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i> . Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9 KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechnika</i> . Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. 225-242s. ISBN 80-86706-00-1. Další literatura bude doplněna vyučujícím.

Modul:	MĚŘENÍ TRANZISTORŮ		Kód:	263EMX05SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Hosp/COP	
Vstupní podmínky:	- úspěšné absolvování modulů Elektrotechniky a Elektroniky v rozsahu 3. ročníku COP - zvládnutí modulů Měřicí přístroje a Měření diod ve 4. ročníku COP			

Anotace cíle:	Měření a ověření vlastností různých typů bipolárních tranzistorů a jejich základních zapojení.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: <ol style="list-style-type: none"> 1) zná matematický model bipolárního tranzistoru, pracuje s parametry udanými výrobcem; 2) změní statické a dynamické charakteristiky bipolárního tranzistoru; 3) změní a diagnostikuje základních zapojení bipolárního tranzistoru.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - matematické modely bipolárních tranzistorů; - statické vlastnosti bipolárního tranzistoru; - dynamické vlastnosti bipolárního tranzistoru (parazitní a nelineární vlastnosti); - bipolární tranzistor ve funkci zesilovače; - bipolární tranzistor ve funkci spínače; - frekvenční vlastnosti el. obvodů s bipolárními tranzistory; - analýza a diagnostika obvodů s bipolárními tranzistory.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (zopakování poznatků o bipolárních tranzistorech – rozšíření znalostí o dynamické a parazitní vlastnosti); - řízená diskuse, konzultace; - jednoznačná zadání laboratorních úloh, - samostatné měření (skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.

Způsob ukončení:	Změření stanoveného počtu úloh a odevzdání příslušných protokolů. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1-5. Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 : 40.						
Hodnocení výsledků:	Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">86 - 100 % ... 1</td> <td style="width: 50%;">71 - 85 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>56 - 70 % ... 3</td> <td>41 - 55 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 40 % ... 5</td> </tr> </table> Žák:	86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2	56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4		0 - 40 % ... 5
86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2						
56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4						
	0 - 40 % ... 5						
Pro 1. výsledek:	K1.1 – pracuje s charakteristikami tranzistorů udávanými výrobcem (10%), K1.2 – zapojí a změní statickou charakteristiku tranzistoru – (osciloskopicky, bod po bodu) (15%),						

	K1.3 – analyzuje výsledky dynamického měření tranzistorů.
Pro 2. výsledek:	K2.1 – vysvětlí funkci základních zapojení s bipolárními tranzistory (10%), K2.2 – navrhne diagnostické měření el. obvodu (10%).
Pro 3. výsledek:	K3.1 – změní vlastnosti el. obvodů s tranzistory (20%), K3.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (15%), K3.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i> . Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9 KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechniku</i> . Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. ISBN 80-86706-00-1. Další literatura bude doplněna vyučujícím.

Modul:	MĚŘENÍ TYRISTORŮ, DIAKŮ A TRIAKŮ		Kód:	263EMX06SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Hosp/COP	
Vstupní podmínky:	<ul style="list-style-type: none"> - úspěšné absolvování modulů Elektrotechniky a Elektroniky v rozsahu 3. ročníku COP - zvládnutí modulů Měřicí přístroje, Měření diod a Měření tranzistorů ve 4. ročníku COP 			

Anotace cíle:	Měření a ověření vlastností různých typů vícevrstvých spínacích prvků (diaky, tyristory, triaky a solid state relay) a jejich základních zapojení.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: <ol style="list-style-type: none"> 1) změří statické a dynamické charakteristiky polovodičových prvků; 2) změří a diagnostikuje chování základních zapojení těchto polovodičových prvků.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - základní vlastnosti spínacích prvků (diak, tyristor, triak, solid relay); - měření statických vlastností vícevrstvých polovodičových prvků; - měření dynamických vlastností vícevrstvých polovodičových prvků (parazitní a nelineární vlastnosti); - analýza a diagnostika obvodů vícevrstvých polovodičových prvků.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (zopakování poznatků o vícevrstvých polovodičových prvků – diak, tyristor, triak a solid state relay); - řízená diskuse, konzultace; - jednoznačná zadání laboratorních úloh; - samostatné měření (skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.

Způsob ukončení:	Změření stanoveného počtu úloh a odevzdání příslušných protokolů. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1-5. Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 : 40.						
Hodnocení výsledků:	Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení: <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>86 - 100 % ... 1</td> <td>71 - 85 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>56 - 70 % ... 3</td> <td>41 - 55 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 40 % ... 5</td> </tr> </table>	86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2	56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4		0 - 40 % ... 5
86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2						
56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4						
	0 - 40 % ... 5						
Pro 1. výsledek:	Žák: <ul style="list-style-type: none"> K1.1 – pracuje s charakteristikami polovodičových spínačů (10%), K1.2 – změří statické charakteristiky polovodičových spínačů – (osciloskopicky, bod po bodu) (20%), K1.3 – změří dynamické vlastnosti polovodičových spínačů (15%). 						

Pro 2. výsledek:	K2.1 – změní vlastnosti el. obvodů s polovodičovými spínači (20%), K2.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (15%), K2.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí L. KUBICA: <i>Elektrotechnická měření</i> . Praha: BEN 2002, ISBN-80-7300022-9 KLAUS TKOTZ A KOLEKTIV: <i>Příručka pro elektrotechnika</i> . Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2002. 225-242s. ISBN 80-86706-00-1. Další literatura bude doplněna vyučujícím.

Modul:	MĚŘENÍ NAPÁJECÍCH OBVDŮ		Kód:	263EMX07SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Ne/COP	
Vstupní podmínky:	- znalost teoretické elektrotechniky, základy elektroniky, znalosti předmětu Elektrotechnická měření v rozsahu 3. ročníku			

Anotace cíle:	Napájecí zdroje patří do skupiny nejvíce rozšířených elektronických obvodů. V návaznosti na znalosti z předmětu elektronika je cílem předmětu praktické ověření teoretických znalostí o zdrojích. Obecným cílem je porozumět, naučit se je používat a znát jejich využití v odborné praxi.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: <ol style="list-style-type: none"> 1) identifikuje závadu napájecího zdroje a navrhne postupy k jejímu odstranění; 2) změří pomocí osciloskopu průběhy filtrovaného napětí za vstupním usměrňovačem, změří nabíjecí proud filtračních kondenzátorů v závislosti na jejich velikosti, určí stupeň filtrace; 3) změří frekvenci impulsního zdroje, výstupní impulsní napětí, průběh usměrněného impulsního napětí na výstupu zdroje, výsledky měření vyhodnotí a zpracuje formou protokolu.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - Měření simulovaných závad: - měření na klasickém a impulsním zdroji; - diagnostikování simulovaných závad, práce s technickou dokumentací zdroje. - Měření filtračních obvodů: - měření pomocí osciloskopu na filtračních obvodech zdroje, měření nabíjecího proudu filtračních kondenzátorů v závislosti na velikosti kapacity, porovnání změny zvlnění v závislosti na velikosti kapacity; - stanovení stupně filtrace, měření na stabilizátoru, určení vlivu stabilizace na filtraci. - Měření frekvence na impulsním zdroji: - měření frekvence impulsního zdroje pomocí osciloskopu, měření průběhu výstupního napětí impulsního zdroje, zpracování výsledků měření.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - praktická cvičení; - předvedení pracovních úkonů učitelem; - přednášky k vybraným obsahovým celkům; - prezentace videomateriálů; - diskuse (skupinová i plenární) k vybraným problémům.

Modul:	MĚŘENÍ ZESILOVAČŮ		Kód:	263EMX08SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Ne/COP	
Vstupní podmínky:	- znalost teoretické elektrotechniky, základy elektroniky, znalosti předmětu Elektrotechnická měření v rozsahu 3. ročníku			

Anotace cíle:	Zesilovače patří do skupiny nejvíce rozšířených elektronických obvodů. V návaznosti na znalosti z předmětu elektronika je cílem předmětu praktické ověření teoretických znalostí o zesilovačích. Obecným cílem je porozumět, naučit se je používat a znát jejich využití v odborné praxi.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: <ol style="list-style-type: none"> 1) změří napěťové zesílení nf zesilovače, proudový zesilovací činitel v zapojení SE, pomocí čítače změří přenášený kmitočet nf zesilovačem; 2) změří pomocí osciloskopu přenášený kmitočet nf zesilovače, sestrojí přenosovou charakteristiku zesilovače; 3) změří vstupní a výstupní odpor nf zesilovače, změří a sestrojí výstupní charakteristiky nf zesilovače, všechna měření vyhodnotí, zpracuje na počítači ve formě protokolu.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - Měření zesílení: - měření napěťového zesílení nf zesilovače, měření proudového zesilovacího činitele; - měření přenášeného kmitočtu zesilovačem, pomocí čítače. - Měření přenášeného kmitočtu osciloskopem: - měření pomocí osciloskopu přenášeného kmitočtu nf zesilovače, sestrojí přenosové charakteristiky zesilovače; - měření posunu fáze přenášeného kmitočtu zesilovačem. - Měření vstupního a výstupního odporu zesilovače: - měření vstupního a výstupního odporu zesilovače; - vyhodnocení a písemné zpracování naměřených hodnot.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - praktická cvičení; - přednášky k vybraným obsahovým celkům; - prezentace videomateriálů; - diskuse (skupinová i plenární) k vybraným problémům.

Modul:	MĚŘENÍ NA MIKROPROCESOROVÝCH ZARÍZENÍCH		Kód:	263EMX09SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	VA/COP	
Vstupní podmínky:	- úspěšné absolvování modulů Číslicové techniky, Mikroprocesorová technika a Elektrická měření v rozsahu 3. ročníku			

Anotace cíle:	Ověření vlastností jednočipových mikropočítačů a jejich zapojení v elektrických obvodech. Důraz je kladen na pochopení laboratorních úloh, samostatnou přípravu, samostatnou práci při měření a jednotnou technicky správnou formu zpracování.
Předpokládané výsledky studia:	Po absolvování modulu žák: <ol style="list-style-type: none"> 1) zná zvláštnosti obvodů s mikroprocesory a používá vhodné měřicí přístroje pro jejich měření; 2) změní základní parametry udávané výrobcí jednočipových mikropočítačů; 3) pracuje s originální dokumentací a vyhodnocuje výsledky měření.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - taktovací frekvence mikroprocesoru (krystal, RC oscilátor); - spotřeba mikroprocesoru (zatěžování I/O, sleep režim); - EMC v obvodech s mikroprocesory; - měření chování mikroprocesoru při resetu (POR, watchdog, BOD); - vlastnosti analogových vstupů a výstupů (A/D, PWM, D/A, komparátor); - sériová komunikace (UART, SPI, I2C).
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (zopakování poznatků o mikroprocesorech, zdůraznění praktického významu měření vybraných vlastností); - řízená diskuse; - jednoznačná zadání laboratorních úloh; - samostatné měření (skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.

Způsob ukončení:	Změření stanoveného počtu úloh a odevzdání příslušných protokolů. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1 - 5. Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 – 40.						
Hodnocení výsledků:	Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">86 - 100 % ... 1</td> <td style="width: 50%;">71 - 85 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>56 - 70 % ... 3</td> <td>41 - 55 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 40 % ... 5</td> </tr> </table> Žák:	86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2	56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4		0 - 40 % ... 5
86 - 100 % ... 1	71 - 85 % ... 2						
56 - 70 % ... 3	41 - 55 % ... 4						
	0 - 40 % ... 5						
Pro 1. výsledek:	K1.1 – prokáže samostatnou přípravu z návodu k laboratorním úlohám (10%), K1.2 – vyjádří vlastními slovy princip měření (15%), K1.3 – objasní zvláštní vlastnosti obvodů s mikroprocesory (10%).						
Pro 2. výsledek:	K2.1 – na základě návodu laboratorních úloh zdůvodní výběr vhodných měřicích přístrojů (10%), K2.2 – ovládá používané měřicí přístroje (15%), K2.3 – na základě laboratorních úloh a dokumentace výrobce ověří správnou funkci mikroprocesorového systému (5%).						
Pro 3. výsledek:	K3.1 – pracuje s dokumentací výrobce (5%), K3.2 – interpretuje změřené hodnoty (tabulka, graf) (10%), K3.3 – analyzuje změřené hodnoty (závěr - zhodnocení) (20%).						
Doporučená literatura:	Elektrotechnická měření – laboratorní návody, SOŠ COP Sezimovo Ústí Dokumentace k mikroprocesorů PIC, www.microchip.com (dle návodu) Další literatura bude doplněna vyučujícím.						

Modul:	MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN		Kód:	263EMX10SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Fu/COP	
Vstupní podmínky:	- znalost modulů elektrotechniky a elektroniky 1. až 3. ročníku			

Anotace cíle:	Modul je zaměřen na výklad čidel a snímačů, jako nejdůležitějších prvků v měřicím řetězci. Důraz je přitom kladen na čidla a snímače vybraných neelektrických veličin, čímž je doplněna podrobně probíraná tematika elektrických měření.
Předpokládané výsledky studia:	<p>Po absolvování modulu žák:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) zná pojem čidla a snímače (senzoru) jako zdroje informací, zná pojem inteligentní senzor; 2) chápe fyzikální principy senzorů používaných v řídicích a regulačních obvodech; 3) zná provedení bezdotykových senzorů přítomnosti, polohy resp. deformaci hmotných těles. Zná princip a funkci optických senzorů neelektrických veličin; 4) rozumí provedení, funkci a použití dotykových a bezdotykových senzorů teploty, akustického tlaku, vibrací.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - Čidlo a snímač: - funkce senzoru v řídicím a regulačním procesu; - fyzikální principy senzorů, přeměna neelektrického signálu na signál elektrický; - technické parametry senzorů, jako je citlivost, práh citlivosti, hysterese, dynamický rozsah apod. - Čidla a snímače neelektrických veličin: - snímače teploty; - snímače deformací; - snímače polohy; - snímače tlaku; - snímače vibrací.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - ukázky snímačů včetně předvedení funkce a použití; - prezentace videomateriálů; - diskuse (skupinová i plenární) k vybraným problémům.

Způsob ukončení:	Závěrečný modulový test, klasifikovaná řízená diskuse, praktická zkouška						
Hodnocení výsledků:	<p>Klasifikace převodem z bodového nebo procentuálního hodnocení:</p> <table> <tr> <td>90 - 100 % ... 1</td> <td>80 - 89 % ... 2</td> </tr> <tr> <td>66 - 79 % ... 3</td> <td>40 - 65 % ... 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0 - 39 % ... 5</td> </tr> </table> <p>Žák:</p>	90 - 100 % ... 1	80 - 89 % ... 2	66 - 79 % ... 3	40 - 65 % ... 4		0 - 39 % ... 5
90 - 100 % ... 1	80 - 89 % ... 2						
66 - 79 % ... 3	40 - 65 % ... 4						
	0 - 39 % ... 5						

Modul:	MĚŘENÍ SPOTŘEBNÍ ELEKTRONIKY		Kód:	263EMX11SO
Typ modulu:	Povinný, specificky odborný	Nominální délka:	24 hodin	
Platnost od:	1. 9. 2012	Autor modulu:	Ne/COP	
Vstupní podmínky:	- úspěšné absolvování modulů Elektrotechnické měření v rozsahu 3. ročníku			

Anotace cíle:	Seznámení s moderní spotřební elektronikou testování její kvality některých parametrů.
Předpokládané výsledky studia:	<p>Po absolvování modulu žák:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) zná principy funkce a základní zapojení spotřební techniky a dokáže navrhnout vhodný způsob měření; 2) změří základní parametry udávané výrobcí spotřební elektroniky; 3) pracuje s originální dokumentací a vyhodnocuje výsledky měření.
Obsah modulu:	<ul style="list-style-type: none"> - měření spotřeby při standby a normálním provozu; - antény a přijímače audio/video signálu; - audio technika; - video technika; - reproduktory a mikrofony; - bílá elektronika; - komunikační a GPS technika.
Doporučené postupy výuky:	<ul style="list-style-type: none"> - výklad (shrnutí problematiky měřených zařízení, zdůraznění praktického významu měření vybraných vlastností); - řízená diskuse; - jednoznačná zadání laboratorních úloh; - samostatné měření (skupina 2-3 žáci, samostatná příprava na laboratorní úlohy); - samostatné zpracování jednotného protokolu z měření na PC.
Způsob ukončení:	<p>Změření stanoveného počtu úloh a odevzdání příslušných protokolů. Hodnocení bude prováděno klasifikační stupnicí 1 - 5.</p> <p>Průběžné a závěrečné hodnocení se promítne do hodnocení v poměru 60 – 40.</p>

4. Návrh měřicích úloh pro laboratorní cvičení

4.1 Úloha č. M1: Seznámení s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ

Cíl úlohy

Naučit žáky kreslit schémata elektrických zapojení a provádět simulaci činnosti elektronických obvodů v prostředí programu National Instruments Multisim. Žáci se dále mají naučit provádět on-line měření s využitím měřicího rozhraní National Instruments myDAQ a mají být schopni používat základní měřicí přístroje přidružené k rozhraní NI myDAQ.

Zadání úlohy

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 obvodu 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). Kmitočet 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 kursory a pomocí nich 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 kmitočtovou charakteristiku. Dolní kmitočet analyzy (Start Frequency) volte 100 Hz, horní kmitočet analyzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) volte 10.
- c) Pomocí kursorů nalezněte kmitočet $f_{\text{m,sim}}$, při kterém dojde k poklesu napěťového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na kmitočtu 100 Hz.
- d) Zjistěte hodnotu kmitočtu $f_{-60,\text{sim}}$, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .
- e) Zjistěte hodnotu napěťového přenosu $a_{\text{u}2\text{k},\text{sim}}$ obvodu pro kmitočet 2 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.

Zadání měřicího protokolu č. M1 je uvedeno v **Příloze II**.

4.2 Úloha č. M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů

Cíl úlohy

Žáci si mají pomocí měřicího rozhraní NI myDAQ ověřit platnost I. a II. Kirchhoffova zákona. Dále se mají naučit nepřímou měřit výkon v elektrickém obvodu.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku proveďte ověření platnosti I. a II. Kirchhoffova zákona. Dále ověřte platnost pravidla, že výkon zdroje je roven součtu příkonů v obvodu.

1) **Ověření I. Kirchhoffova zákona (proudového)**

- a) V prostředí simulačního programu NI Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro ověřování Kirchhoffových zákonů a výkonů.
- b) Z hodnot napětí a odporů obvodových součástek vypočtete elektrické proudy $I_{1,vyp}$, $I_{2,vyp}$, $I_{3,vyp}$ tekoucí jednotlivými větvemi nakresleného obvodu a tyto hodnoty запиšte do příslušné tabulky. Spínače S_1 , S_2 , S_3 považujte za sepnuté.
- c) V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnoty elektrických proudů $I_{1,sim}$, $I_{2,sim}$, $I_{3,sim}$. Změřené hodnoty запиšte do příslušné tabulky.
- d) V režimu myDAQ (on-line měření) změřte s využitím číslicového multimetru myDAQ hodnoty elektrických proudů $I_{1,skut}$, $I_{2,skut}$, $I_{3,skut}$. Změřené hodnoty запиšte do příslušné tabulky.
- e) Vysvětlete případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami proudů. Ověřte, že platí znění I. Kirchhoffova zákona.

2) **Ověření II. Kirchhoffova zákona (napět'ového)**

- a) Z hodnot napětí a odporů obvodových součástek vypočtete úbytky napětí $U_{1,vyp}$, $U_{2,vyp}$, $U_{3,vyp}$, $U_{4,vyp}$, $U_{5,vyp}$ na odpovídajících rezistorech a tyto hodnoty запиšte do příslušné tabulky. Spínače S_1 , S_2 , S_3 považujte za sepnuté.
- b) V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnoty úbytků napětí $U_{1,sim}$, $U_{2,sim}$, $U_{3,sim}$, $U_{4,sim}$, $U_{5,sim}$. Změřené hodnoty запиšte do příslušné tabulky.
- c) V režimu myDAQ (on-line měření) změřte s využitím číslicového multimetru myDAQ hodnoty úbytků napětí $U_{1,skut}$, $U_{2,skut}$, $U_{3,skut}$, $U_{4,skut}$, $U_{5,skut}$. Změřené hodnoty запиšte do příslušné tabulky.
- d) Vysvětlete případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami elektrických napětí. Ověřte, že platí znění II. Kirchhoffova zákona.

3) **Ověřování výkonů**

- a) Dopačítejte hodnoty výkonů P_{sim} , $P_{1,sim}$, $P_{2,sim}$, $P_{3,sim}$, $P_{4,sim}$, $P_{5,sim}$ pro režim simulace. Ověřte, že součet příkonů $P_{1,sim}$ až $P_{5,sim}$ je roven výkonu zdroje P_{sim} .
- b) Dopačítejte hodnoty výkonů P_{skut} , $P_{1,skut}$, $P_{2,skut}$, $P_{3,skut}$, $P_{4,skut}$, $P_{5,skut}$ pro režim on-line měření. Ověřte, že součet příkonů $P_{1,skut}$ až $P_{5,skut}$ je roven výkonu zdroje P_{skut} .

Zadání měřicího protokolu č. M2 je uvedeno v **Příloze III**.

4.3 Úloha č. M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu

Cíl úlohy

Porovnání chování kondensátoru, cívky (kmitočtově závislé součástky), rezistoru (lineární odporová součástka) a žárovky (nelineární odporová součástka) v obvodu stejnosměrného proudu.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku změřte elektrický příkon v obvodu stejnosměrného proudu pro následující zátěže: kondensátor, cívka, rezistor, žárovka.

1) Měření příkonu cívky

- V režimu simulace změřte nepřímou metodou elektrický příkon miniaturní cívky s ferritovým jádrem při napájení zdrojem 5 V.
- Měření z bodu 1a proveďte v režimu on-line měření.
- Porovnejte simulované a skutečně změřené hodnoty.

2) Měření příkonu kondensátoru

- V režimu simulace změřte nepřímou metodou elektrický příkon hliníkového elektrolytického kondensátoru při napájení zdrojem 5 V.
- Měření z bodu 2a proveďte v režimu on-line měření.
- Porovnejte simulované a skutečně změřené hodnoty.

3) Měření příkonu rezistoru

- V režimu simulace změřte závislost proudu $I_{R,sim}$ tekoucího rezistorem, odporu R_{sim} a příkonu $P_{R,sim}$ na svorkovém napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujte od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.
- V režimu on-line měření změřte závislost proudu $I_{R,skut}$ tekoucího rezistorem, odporu R_{skut} a příkonu $P_{R,skut}$ na svorkovém napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujte odporovým trimrem od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.
- Simulované a skutečně změřené závislosti $I_R = f(U)$, $R = f(U)$, $P_R = f(U)$ vynesete do společných grafů.

4) Měření příkonu žárovky

- V režimu simulace změřte závislost proudu $I_{\zeta,sim}$ tekoucího žárovkou, odporu $R_{\zeta,sim}$ a příkonu $P_{\zeta,sim}$ na svorkovém napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujte od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.

- b) V režimu on-line měření změřte závislost proudu $I_{\text{ž,skut}}$ tekoucího žárovkou, odporu $R_{\text{ž,skut}}$ a příkonu $P_{\text{ž,skut}}$ na svorkovém napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujte odporovým trimrem od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.
- c) Simulované a skutečně změřené závislosti $I_{\text{ž}} = f(U)$, $R_{\text{ž}} = f(U)$, $P_{\text{ž}} = f(U)$ vynesete do společných grafů.

Zadání měřicího protokolu č. M3 je uvedeno v **Příloze IV**.

4.4 Úloha č. M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače

Cíl úlohy

Žáci si mají prakticky ověřit své teoretické poznatky o polovodičových usměrňovacích diodách a polovodičových usměrňovačích.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte 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 $I_{\text{F,sim}}$ tekoucí diodou a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{\text{F,sim}}$ 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 $U_{\text{R,sim}}$ a odečtěte odpovídající anodový proud $I_{\text{R,sim}}$.
- 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 kmitočtem 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 kursorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , kmitočet f a amplitudu $U_{2,\max}$ výstupního průběhu napětí usměrňovače. Z průběhu anodového proudu určete jeho amplitudu $I_{D,\max}$ a úhel otevření usměrňovače α .
- e) Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondensátory.

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Graetzově zapojení

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého zapojení obvod dvoucestného můstkového usměrňovače.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s kmitočtem 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 kursorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , kmitočet f a amplitudu $U_{2,\max}$ výstupního napětí usměrňovače. Z průběhu anodového proudu určete jeho amplitudu $I_{D,\max}$ a úhel otevření usměrňovače α .
- e) Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondensátory.

Zadání měřicího protokolu č. M4 je uvedeno v **Příloze V**.

4.5 Úloha č. M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod

Cíl úlohy

Žáci si mají prakticky ověřit chování jednotlivých druhů polovodičových svítivých diod v obvodu stejnosměrného napětí a proudu.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte s chováním polovodičové svítivé diody (LED). Pro každou z diod zjistíte z grafu V-A charakteristiky prahové napětí U_{T0} , které diodu charakterizuje. Úkoly:

- 1) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření V-A charakteristik zadaných svítivých diod v propustném směru.
- 2) V režimu simulace nastavujte, pomocí regulování potenciometrů R_1 a R_2 , podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí svítivou diodou a zaznamenejte příslušné úbytky anodového napětí $U_{F,sim}$. Měření proveďte pro všechny zadané diody.
- 3) V režimu on-line měření nastavujte regulací odporových trimrů R_1 a R_2 podle tabulky anodový proud $I_{F,skut}$ a zaznamenejte příslušné anodové napětí $U_{F,skut}$. Měření proveďte pro všechny zadané diody.
- 4) Všechny změřené hodnoty vynesete do společných grafů (jeden pro simulované hodnoty, druhý pro reálné hodnoty). Určete u jednotlivých diod příslušná prahová napětí U_{T0} . Porovnejte průběhy simulovaných a reálných V-A charakteristik svítivých diod, rozdíly vysvětlete.

Zadání měřicího protokolu č. M5 je uvedeno v **Příloze VI**.

4.6 Úloha č. M6: Měření výstupních charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET

Cíl úlohy

Žáci si mají prakticky ověřit průběh výstupních volt-ampérových charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem typu P v zapojení se společnou zdrojovou elektrodou. Dále se mají naučit určovat strmost tranzistoru.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku změřte výstupní (kolektorové) V-A charakteristiky unipolárního tranzistoru Tesla KF 522 pomocí osciloskopu a číslicového multimetru.

- 1) V prostředí simulačního programu NI Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření výstupních V-A charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET. Místo tranzistoru KF 522 použijte model ideálního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem P.
- 2) V režimu simulace regulací potenciometru R_1 nastavte podle příložené tabulky napětí U_{GS} na řídicí elektrodě tranzistoru. Hodnotu napětí U_{GS} odečítejte na osciloskopu myDAQ.
- 3) Regulací potenciometrů R_2 (hrubé nastavení) a R_3 (jemné nastavení) nastavujte podle příložené tabulky hodnotu kolektorového napětí U_{DS} a odečítejte hodnotu kolektorového proudu $I_{D,sim}$. Odměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky.
- 4) Zopakujte měření z bodů 2, 3 pro všechna zadaná napětí hradla U_{GS} .
- 5) Měření podle bodů 2, 3, 4 proveďte v on-line režimu pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem. Navíc určete strmost y_{21S} tranzistoru KF 522 pro napětí $U_{DS} = 10\text{ V}$ a proud $I_D = 10\text{ mA}$.
- 6) Výstupní (kolektorové) charakteristiky unipolárního tranzistoru změřené v režimu simulace (ideální MOSFET) i on-line měření (MOSFET KF 522) vynesete do společného grafu. Popište, jak se odlišují charakteristiky ideálního modelu tranzistoru MOSFET a tranzistoru reálného.

Zadání měřicího protokolu č. M6 je uvedeno v **Příloze VII**.

4.7 Úloha č. M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače

Cíl úlohy

Žáci se mají naučit navrhovat a proměřovat tranzistorový zesilovací stupeň s bipolárním tranzistorem v zapojení se společným emitorem pro pracovní třídu A.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku jednostupňového tranzistorového zesilovače s bipolárním tranzistorem Tesla KC 508 v zapojení se společným emitorem proveďte následující operace:

1) *Návrh hodnot obvodových součástek zesilovače*

Podle postupu naznačeného v teoretickém rozboru proveďte zjednodušený stejnosměrný návrh hodnot obvodových součástek zesilovače (R_{B1} , R_{B2} , R_C) tak, aby byly splněny následující požadavky a předpoklady:

- Zesilovač bude pracovat ve třídě A (tj. klidové napětí $U_{CE} = U_{CC}/2$).
- Napájecí napětí zesilovače $U_{CC} = 15$ V.
- Klidový kolektorový proud $I_C = 2,0$ mA.
- Příčný proud báze děličem $I_d = 20 \cdot I_B$.
- Předpokládaný proudový zesilovací činitel $\beta = 500$.
- Součástí návrhu nebude střídavý rozbor zesilovače a určení hodnot vazebních kondensátorů $C_{v,1}$, $C_{v,2}$, emitorového kondensátoru C_E a emitorového odporu R_E .

2) *Ověření správné činnosti zesilovače*

- V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu č. 1 obvod tranzistorového zesilovače.
- V režimu simulace regulací odporových trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C na pracovní ploše simulačního programu nastavte hodnoty proudů I_C , I_d a napětí U_{CE} zadané v bodě 1. Hodnoty odporů trimrů zapište do příslušné tabulky.
- Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu č. 1.
- V režimu on-line měření regulací odporových trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C na přípravku nastavte hodnoty proudů I_C , I_d a napětí U_{CE} vypočítané v bodě 1.
- V programu Multisim i na přípravku proveďte přepojení obvodu podle schématu č. 2.
- V režimu on-line měření proveďte ověření správné činnosti zesilovače pomocí sinusového generátoru a osciloskopu myDAQ. Případnou nesymetrii či deformaci výstupního napětí zesilovače upravte doregulováním trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C .
- Uložte oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí si vhodně zvolte.

3) *Měření přenosové charakteristiky zesilovače*

Pomocí Bodeho analyzátoru změřte přenosovou charakteristiku tranzistorového zesilovače v pásmu od 1 Hz do 20 kHz s deseti kroky na dekádu. Změřenou charakteristiku uložte do souboru a vložte ji jako přílohu k protokolu. Po skončení měření a rozebrání zapojení doměřte pomocí ohmmetru myDAQ na přípravku hodnoty odporů R_{B1} , R_{B2} , R_C a vysvětlete případné nesrovnalosti.

Zadání měřicího protokolu č. M7 je uvedeno v **Příloze VIII**.

4.8 Úloha č. M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače

Cíl úlohy

Žáci si mají ověřit chování bipolárního a unipolárního tranzistoru ve spínacím režimu.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování bipolárního a unipolárního tranzistoru ve spínacím režimu činnosti.

1) *Bipolární tranzistor jako spínač*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod elektronického spínače s bipolárním tranzistorem.
- b) V příloženém elektronickém katalogovém listu bipolárního tranzistoru n-p-n typu BC 337-25 zjistěte hodnotu stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E, kat}$, saturačního kolektorového napětí $U_{CE, sat, kat}$ a spínacího bázevého napětí $U_{BE, on, kat}$.
- c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B, off, sim}$, $I_{C, off, sim}$ při rozepnutém stavu a $I_{B, on, sim}$, $I_{C, on, sim}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE, on, sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE, sat, sim}$. Dopačítejte hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E, sim}$; odporu kolektorového kanálu $R_{CE, off, sim}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE, on, sim}$ v sepnutém stavu spínače.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s bipolárním tranzistorem z měřicího přípravku.

- e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 1c.
- f) Uložte oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí volte 5 V (TTL signál).
- g) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete.

2) *Unipolární tranzistor jako spínač*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod elektronického spínače s unipolárním tranzistorem.
- b) V přiloženém elektronickém katalogovém listu unipolárního tranzistoru HEXFET typu IRFZ44N zjistěte hodnotu odporu kolektorového kanálu v sepnutém stavu $R_{DS,on,kat}$; zapínací dobu relé $t_{on,kat}$ a vypínací dobu relé $t_{off,kat}$.
- c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,sim}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,sim}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,sim}$; odpor kolektorového kanálu $R_{DS,on,sim}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,sim}$ v rozepnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,sim}$ a vypínací dobu $t_{off,sim}$ relé.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s unipolárním tranzistorem z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 2c.
- f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete.
- g) Uložte oscilogramy napětí na vinutí relé a napětí na LED diodě pro kmitočet $f = 1$ Hz. Rozkmit vstupního napětí tranzistoru je 5 V (TTL signál).

Zadání měřicího protokolu č. M8 je uvedeno v **Příloze IX**.

4.9 Úloha č. M9: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů

Cíl úlohy

Žáci se mají seznámit s vlastnostmi a zapojením Darlingtonovy a Sziklaiovy dvojice tranzistorů. Dále se mají žáci naučit měřit proudový zesilovací činitel tranzistoru.

Zadání úlohy

1) *Darlingtonovo zapojení tranzistorů*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod Darlingtonovy dvojice tranzistorů.

- b) V přiloženém elektronickém katalogovém listu bipolárních tranzistorů BC 337-25, BD 139-16 zjistíte střední hodnoty stejnosměrných proudových zesilovacích činitelů $\beta_{1,kat}$, $\beta_{2,kat}$ a hodnotu saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$. Dopočítejte celkový proudový zesilovací činitel β_{kat} .
- c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: zapínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$; zapínací bázevé a kolektorové proudy $I_{B1,on,sim}$, $I_{C1,on,sim}$, $I_{C2,on,sim}$. Dopočítejte proudové zesilovací činitele $\beta_{1,sim}$, $\beta_{2,sim}$ a β_{sim} .
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod Darlingtonovy dvojice z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 1c.
- f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete.

2) Sziklaiovo zapojení tranzistorů

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod Sziklaiovy dvojice tranzistorů.
- b) V přiloženém elektronickém katalogovém listu bipolárních tranzistorů BC 337-25, BD 140-16 zjistíte střední hodnoty stejnosměrných proudových zesilovacích činitelů $\beta_{1,kat}$, $\beta_{2,kat}$ a hodnotu saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$. Dopočítejte celkový proudový zesilovací činitel β_{kat} .
- c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: zapínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$; zapínací proudy $I_{B1,on,sim}$, $I_{C1,on,sim}$, $I_{E2,on,sim}$. Dopočítejte proudové zesilovací činitele $\beta_{1,sim}$, $\beta_{2,sim}$ a β_{sim} .
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod Sziklaiovy dvojice z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 2c.
- f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete. Vysvětlete rozdíly mezi Darlingtonovo a Sziklaiovo zapojením.

Zadání měřicího protokolu č. M9 je uvedeno v **Příloze X**.

4.10 Úloha č. M10: Měření základních parametrů tyristoru

Cíl úlohy

Žáci se mají seznámit s triodovým závěrně blokujícím tyristorem, dokázat změřit jeho parametry, ověřit si činnost tyristoru a naučit se jej ovládat.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování triodového závěrně blokujícího tyristoru Tesla KT 110/200. Na předloženém přípravku proveďte následující měření:

- 1) V režimu simulace a on-line měření určete stejnosměrné propustné napětí U_T tyristoru v sepnutém stavu. Zjistěte hodnotu přídržného proudu I_H a porovnejte ji s katalogem.
- 2) V režimu simulace a on-line měření zjistěte hodnotu spínacího proudu řídicí elektrody I_{GT} a spínacího napětí řídicí elektrody U_{GT} . Tyto hodnoty porovnejte s katalogem.
- 3) V režimu simulace a on-line měření určete průběh závislosti stejnosměrného propustného napětí U_T tyristoru na protékajícím anodovém proudu I_T v rozmezí od hodnoty I_H do hodnoty mezního anodového proudu daného zapojením s krokem 5 mA.

Zadání měřicího protokolu č. M10 je uvedeno v **Příloze XI**.

4.11 Úloha č. M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory

Cíl úlohy

Žáci se mají seznámit s postupem návrhu souměrného astabilního multivibrátoru s bipolárními tranzistory. Dokázat změřit parametry multivibrátoru.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování souměrného astabilního multivibrátoru s bipolárními npn tranzistory typu BC 337-25. Úkoly:

- 1) Proveďte výpočet hodnot obvodových součástek souměrného astabilního multivibrátoru s následujícím zadáním:
 - a) napájecí napětí multivibrátoru $U_{CC} = 5$ V;
 - b) kmitočet výstupních impulsů $f = 1$ kHz;

- c) střída výstupního obdélníkového signálu $\delta = 50 \%$;
 - d) saturační kolektorový proud tranzistorů $I_{C,sat} = 20 \text{ mA}$;
 - e) použité tranzistory BC 337-25;
 - f) hodnoty minimálního proudového zesílení $h_{21E,min} = \beta_{min}$ a saturačních napětí $U_{BE,sat}$, $U_{CE,sat}$ si dohledejte v elektronickém katalogu v příloze protokolu.
- 2) V režimu simulace nakreslete navržený obvod a proveďte odměření následujících parametrů:
- a) dobu jedné periody T ;
 - b) kmitočet výstupních impulsů f ;
 - c) střídu výstupního obdélníkového signálu δ .
- 3) V režimu on-line měření proveďte odměření stejných parametrů jako v předešlém bodě. Porovnejte simulované a reálné hodnoty a případné rozdíly vysvětlete.
- 4) Pomocí dvoukanálového osciloskopu zaznamenejte průběhy napětí přímého a invertovaného výstupního kanálu multivibrátoru.

Zadání měřicího protokolu č. M11 je uvedeno v **Příloze XII**.

4.12 Úloha č. M12: Aktivní RC kmitočtové filtry

Cíl úlohy

Žáci se mají naučit navrhovat aktivní RC kmitočtové filtry, poznat rozdíl mezi teoretickým návrhem filtru a jeho praktickou realizací.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, návrhového programu FilterPro, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte parametry a chování aktivního RC kmitočtového filtru. Úkoly:

- 1) V programu FilterPro firmy Texas Instruments proveďte návrh aktivního kmitočtového filtru typu dolní propusti v Sallenově-Keyově zapojení s Butterworthovou aproximací. Vytvořené schéma s hodnotami obvodových součástek přiložte jako přílohu k protokolu. Volte tyto parametry:
 - a) druh filtru dolní propust;
 - b) řád filtru je 7 (strmost filtru -140 dB/dek , resp. -42 dB/okt.);
 - c) mezní (zlomový) kmitočet je 500 Hz ;

- d) zapojení typu Sallen-Key;
 - e) aproximace typu Butterworth;
 - f) napěťové zesílení filtru v propustném pásmu je $1,0 = 0$ dB;
 - g) použity nízkopříkonové operační zesilovače TL 074.
- 2) V režimu simulace nakreslete navržený obvod a proveďte odměření přenosové charakteristiky (amplitudovou i fázovou část argumentu) filtru pomocí Bodeho analyzátoru v rozmezí kmitočtů od 1 Hz do 20 kHz. Určete tyto parametry:
- a) Přenos filtru $a_{U,d}$ [dB] v propustném pásmu.
 - b) Přenos filtru $a_{U,h}$ [dB] v nepropustném pásmu (šum pozadí).
 - c) Mezní (zlomový) kmitočet filtru f_m [Hz].
 - d) Strmost poklesu přenosu filtru S [dB/dek].
- 3) V režimu on-line měření proveďte odměření stejných parametrů jako v předešlém bodě.
- 4) Porovnejte navržené, simulované a reálné hodnoty a případné rozdíly vysvětlete.

Zadání měřicího protokolu č. M12 je uvedeno v **Příloze XIII**.

4.13 Úloha č. M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů

Cíl úlohy

Žáci si mají prakticky ověřit své teoretické poznatky o pasivních RC kmitočtových filtrech.

Zadání úlohy

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

1) RC kmitočtový filtr typu dolní propusti

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření pasivního RC kmitočtového filtru typu dolní propusti.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočtete mezní kmitočet filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_1 a S_2 považujte za rozpojené.

- c) S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou 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).
- d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (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 kmitočtového filtru.

2) RC kmitočtový filtr typu horní propustí

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření pasivního RC kmitočtového filtru typu horní propustí.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočtěte mezní kmitočet filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_3 a S_4 považujte za rozepnuté.
- c) S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou 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 kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (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 kmitočtového filtru.

3) RC pásmová propust – Wienův článek

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC pásmové propusti v zapojení dle Wiena.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočtěte kritický kmitočet filtru $f_{0,vyp}$ a kritický přenos filtru $A_{0,vyp}$.
- c) Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace i on-line měření a uložte ji do souboru.

- d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtěte hodnoty kritických kmitočtů a přenosů $f_{0,\text{sim}}$, $A_{0,\text{sim}}$ a $f_{0,\text{skut}}$, $A_{0,\text{skut}}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty kritických kmitočtů a přenosů $f_{0,\text{vyp}}$, $A_{0,\text{vyp}}$ (vypočtená hodnota), $f_{0,\text{sim}}$, $A_{0,\text{sim}}$ (simulace), $f_{0,\text{skut}}$, $A_{0,\text{skut}}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.

4) RC pásmová zadrž – dvojitý T-článek

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

Zadání měřicího protokolu č. M13 je uvedeno v **Příloze XIV**.

4.14 Úloha č. M14: Měření základních zapojení s operačními zesilovači

Cíl úlohy

Žáci si mají prakticky ověřit své teoretické poznatky a vztahy týkající se neinver-tujícího a invertujícího zapojení s operačním zesilovačem a napěťového sledovače.

Zadání úlohy

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

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schéma-tu obvod pro měření invertujícího zesilovače.
- b) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočtěte výsledná napěťová zesílení $A_{u,\text{vyp}}$ invertujícího zesilovače.

- c) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s kmitočtem 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 napět'ová zesílení $A_{u,sim}$.
- e) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod invertujícího zesilovače z měřicího přípravku.
- f) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d. Dopočítejte výsledná napět'ová 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.

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 vypočtete výsledná napět'ová zesílení $A_{u,vyp}$ neinvertujícího zesilovače.
- c) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s kmitočtem 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 napět'ová 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 napět'ová 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) *Napět'ový sledovač s operačním zesilovačem*

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod napět'ového sledovače.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s kmitočtem 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 napět'ové zesílení $A_{u,sim}$.

- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod napět'ového sledovače z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d. Dopočítejte výsledné napět'ové 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.

Zadání měřicího protokolu č. M14 je uvedeno v **Příloze XV**.

4.15 Úloha č. M15: Měření optoelektronického vazebního členu

Cíl úlohy

Žáci mají poznat prakticky vlastnosti a využití optoelektronických vazebních členů a naučit se ověřovat jejich parametry měřením.

Zadání úlohy

S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku s optoelektronickým vazebním členem (optronem) Tesla WK 164 12-4 proved'te níže uvedená měření.

1) Měření V - A charakteristiky vysílače (infračervená GaAs dioda)

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření parametrů optoelektronického vazebního členu.
- b) Spust'te režim simulace. Sepněte spínač S_1 , spínač S_2 nechte rozpojený.
- c) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače oprtonu a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě vysílače. Proud $I_{F,sim}$ a napětí $U_{F,sim}$ odečítejte přímo na multimetru. Po odměření ukončete režim simulace.
- d) Připojte k rozhraní myDAQ přípravek s oprtonem. Na přípravku sepněte spínač S_1 do polohy „1“, spínač S_2 do polohy „0“. Spust'te režim on-line měření.
- e) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,skut}$ tekoucí diodou vysílače oprtonu a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{F,skut}$ vznikající na diodě vysílače. Proud

$I_{F,skut}$ a napětí $U_{F,skut}$ odečítejte přímo na multimetru. Po odměření ukončete režim on-line měření.

- f) Všechny změřené hodnoty vynesete do společného grafu. Určete prahové napětí U_{T0} diody vysílače. Porovnejte průběhy simulované a reálné V-A charakteristiky diody vysílače, rozdíly se pokuste vysvětlit.

2) *Měření přenosové charakteristiky optronu*

- a) Spust'ete režim simulace. Spínač S_1 nechte sepnutý, spínač S_2 nechte rozpojený.
- b) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenejte kolektorový proud $I_{C,sim}$ tekoucí tranzistorem přijímače. Proud $I_{F,sim}$ odečítejte přímo na multimetru, proud $I_{C,sim}$ odečítejte nepřímo jako úbytek napětí na odporu 10Ω (pomocí osciloskopu). Po odměření ukončete režim simulace.
- c) Měření podle bodu 2b proveďte v režimu on-line měření. Po odměření ukončete on-line režim.
- d) Vynesete do společného grafu simulovanou a reálně odměřenou přenosovou charakteristiku optronu, tj. závislost $I_C = f(I_F)$ a $CTR = f(I_F)$. Hodnotu proudového přenosového poměru CTR porovnejte s katalogem.

3) *Měření doby náběhu, doby doběhu a saturačního napětí*

- a) Spust'ete režim simulace. Spínač S_1 rozepněte, spínač S_2 sepněte. Funkční generátor nastavte na TTL výstup s kmitočtem 1 kHz.
- b) Pomocí dvoukanálového osciloskopu změřte dobu náběhu impulsu $t_{r,sim}$, dobu doběhu impulsu $t_{f,sim}$ a saturační napětí $U_{CE,sat,sim}$. Po odměření ukončete režim simulace.
- c) Spust'ete režim on-line měření. Pomocí osciloskopu myDAQ změřte dobu náběhu impulsu $t_{r,skut}$, dobu doběhu impulsu $t_{f,skut}$ a saturační napětí $U_{CE,sat,skut}$.

4) *Měření časových průběhů*

V režimu on-line měření zaznamenejte a jako přílohu k protokolu vložte oscilogramy napěťových průběhů na vstupu optronu (TTL generátor) a výstupu optronu (výstup nezatížen). Kmitočet generátoru volte rovný 1 kHz.

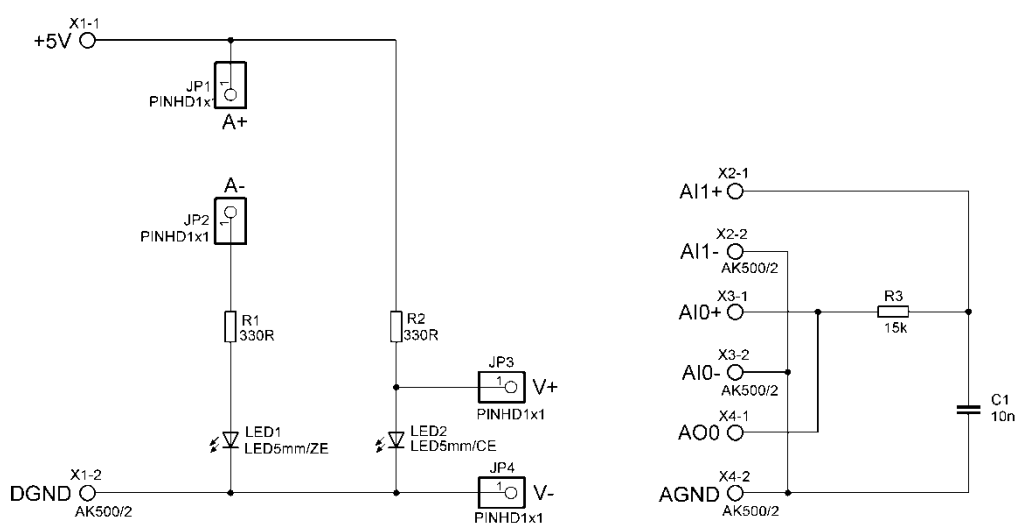
Zadání měřicího protokolu č. M15 je uvedeno v **Příloze XVI**.

5. Konstrukce měřicích přípravků pro jednotlivé úlohy

V následující části diplomové práce autor uvádí své vlastní návrhy elektrických zapojení měřicích přípravků pro jednotlivé úlohy, včetně jejich technické dokumentace. Výrobní podklady uvedené na následujících obrázcích nejsou vytištěny v přesně kalibrovaném měřítku a nemají sloužit pro následnou výrobu. Pokud čtenář této práce zatouží po fyzické výrobě jednotlivých měřicích přípravků, nalezne odpovídající výrobní dokumentaci v příslušných adresářích na kompaktním disku, který je součástí této diplomové práce. Návrh přípravků je autorem proveden v CAD systému Eagle.

5.1 Elektrická zapojení a popis jednotlivých přípravků

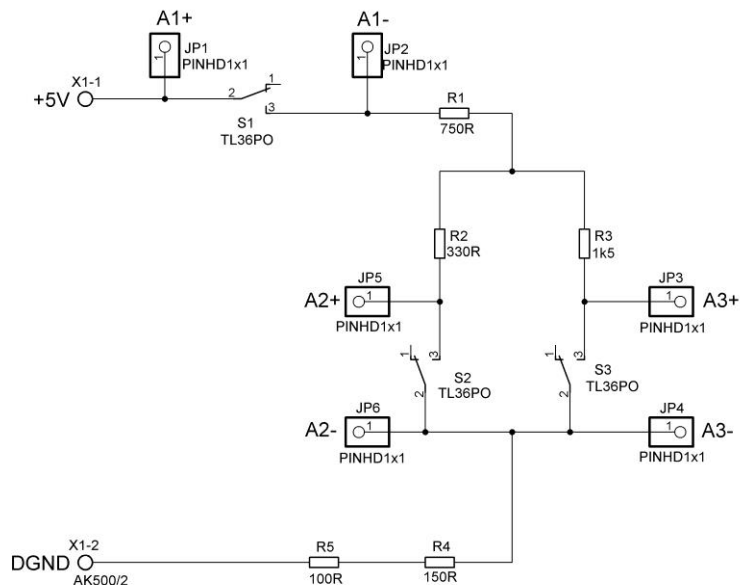
5.1.1 Měřicí přípravek M1: Seznámení s rozhraním NI myDAQ



Obr. 27. Elektrické zapojení přípravku M1

Přípravek M1 slouží k uvedení do práce s rozhraním NI myDAQ. Žák se zde má seznámit s ovládáním číslicového multimetru (měření stejnosměrného napětí a proudu) a dále s ovládáním a nastavováním funkčního generátoru, dvoukanálového číslicového osciloskopu a Bodeho analyzátoru. Práce s multimetrem se ověřuje na jednoduchém zapojení se svítivými diodami. Ovládání funkčního generátoru a osciloskopu se ověřuje prostým vodivým spojením výstupu generátoru se vstupem osciloskopu. Nastavování Bodeho analyzátoru si žáci ověřují na jednoduchém článku RC.

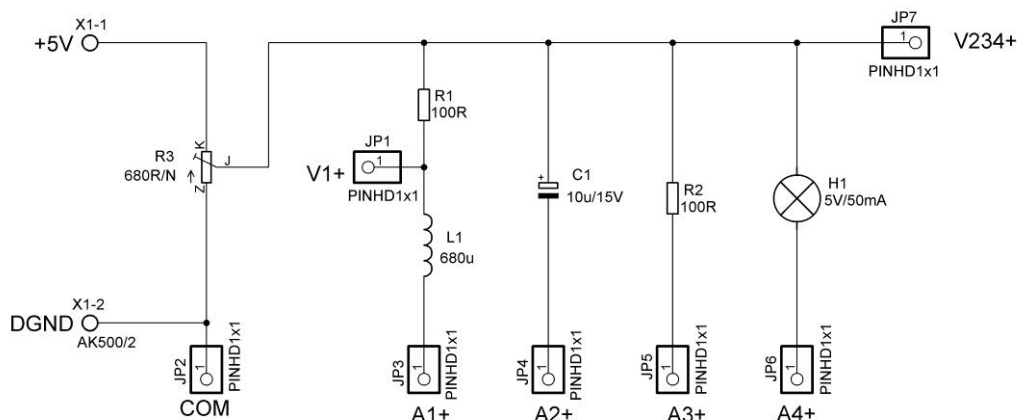
5.1.2 Měřicí přípravek M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů



Obr. 28. Elektrické zapojení přípravku M2

Přípravek M2 je zapojen jako jednoduchý obvod s pěti rezistory a slouží k ověřování prvního a druhého Kirchhoffova zákona. Žáci pracují s číslicovým multimetrem zapojeným ve funkci ampérmetru či voltmetru. Spínače S1, S2, S3 slouží k přerušení proudů v jednotlivých větvích obvodu při požadavku měření příslušného proudu multimetrem.

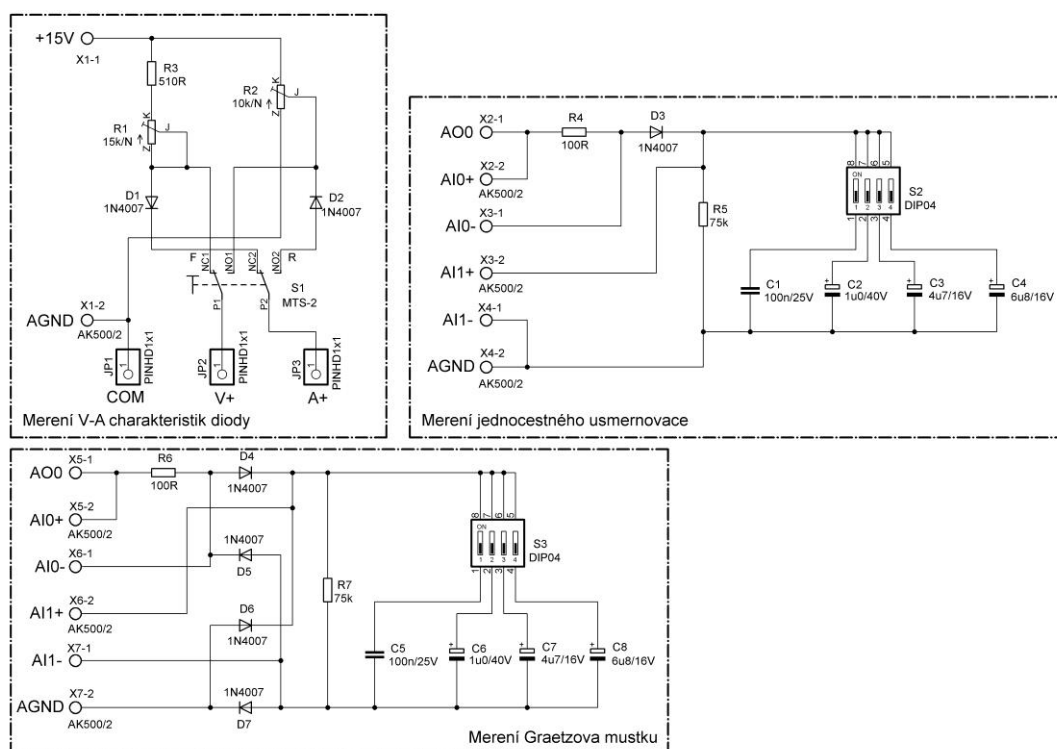
5.1.3 Měřicí přípravek M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu



Obr. 29. Elektrické zapojení přípravku M3

Přípravek M3 slouží k měření stejnosměrných parametrů (napětí, proud, příkon) základních pasivních zátěží – u tohoto přípravku se jedná o cívku, kondensátor, rezistor (součástka s lineárním odporem) a žárovku (nelineární odpor). Nastavování svorkového napětí na zvolené zátěži se provádí cermetovým trimrem R3. Svorky A slouží k připojení ampérmetru, svorky V k připojení voltmetru.

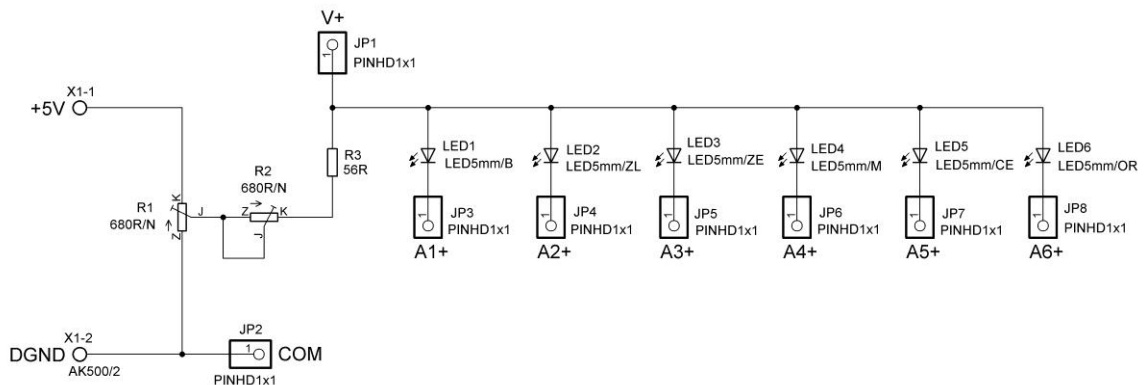
5.1.4 Měřicí přípravek M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače



Obr. 30. Elektrické zapojení přípravku M4

Přípravek M4 sestává ze tří obvodů. První obvod je určen k měření V-A charakteristiky křemíkové plošné diody v propustném i závěrném směru. Změna polarity se provádí přepnutím dvoupólového přepínače S1. Body V-A charakteristiky se měří pomocí číslicového multimetru. Druhý obvod je zapojen jako jednocestný sériový usměrňovač, kde mají žáci možnost připojovat na výstup usměrňovače filtrační (nárazové) kondensátory s různou kapacitou. Obdobně je zapojen i třetí obvod reprezentující dvoucestný usměrňovač v můstkovém zapojení. Zatěžovací odpory R5, R7 (75 kΩ) a kapacity filtračních kondensátorů jsou voleny tak, aby na oscilogramech výstupních napětí usměrňovačů bylo patrné zvlnění usměrněného napětí.

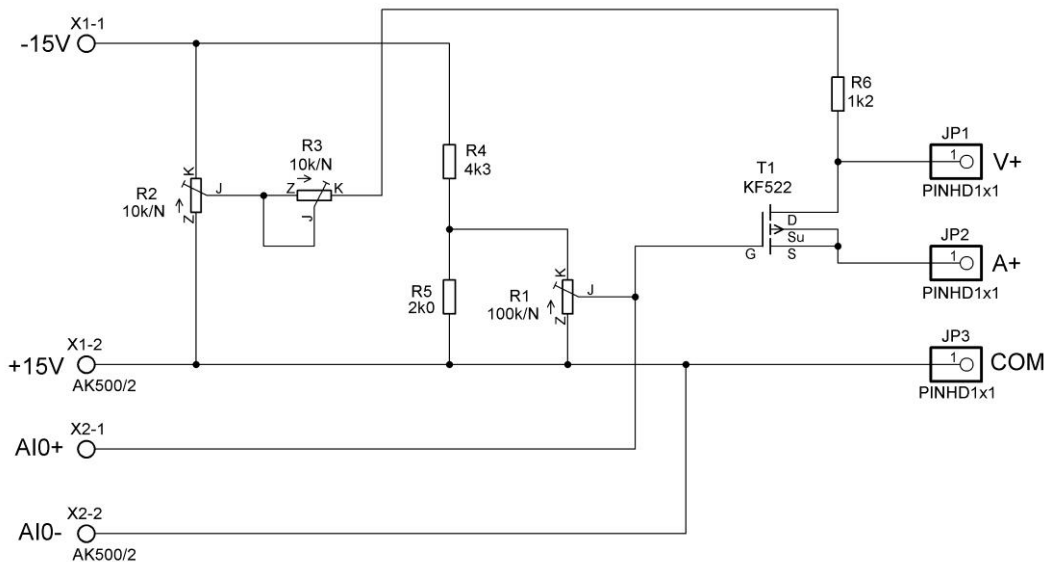
5.1.5 Měřicí přípravek M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod



Obr. 31. Elektrické zapojení přípravku M5

Zapojení přípravku M5 je jednoduché a slouží k proměření V-A charakteristik vybraných svítivých diod v propustném směru. Na svorky A, V, COM se zapojuje číselný multimetr myDAQ. Nastavování anodového proudu, tekoucího jednotlivými svítivými diodami, se provádí regulací odporu cermetových trimrů R1, R2.

5.1.6 Měřicí přípravek M6: Měření V-A charakteristik tranzistoru MOSFET

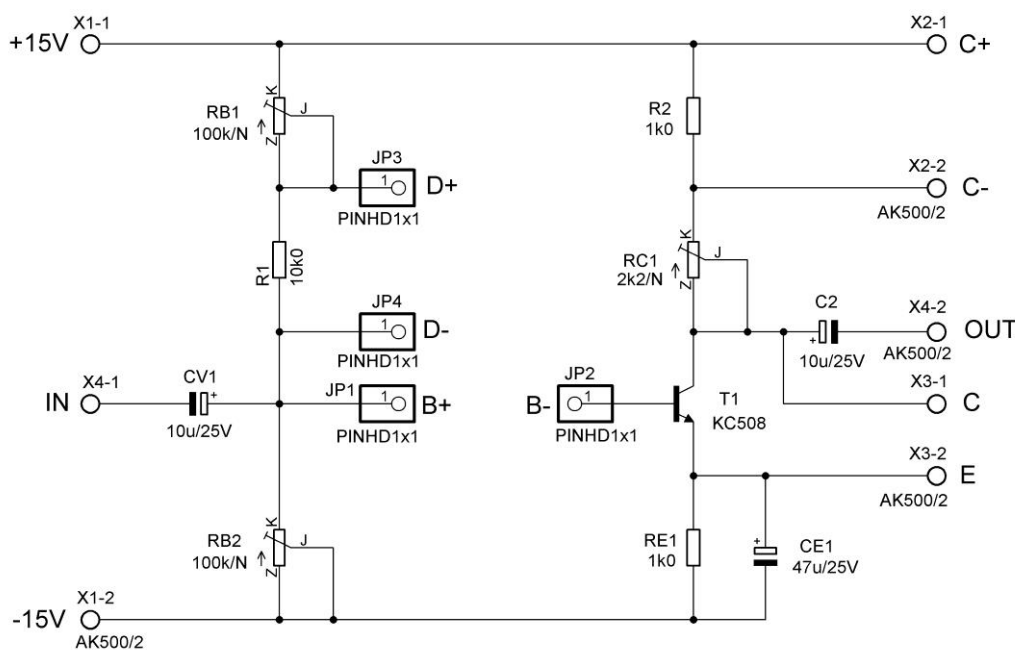


Obr. 32. Elektrické zapojení přípravku M6

Přípravek M6 představuje měřicí obvod pro určování výstupních (kolektorových) V-A charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem

typu P v zapojení se společnou zdrojovou elektrodou (tj. se společným emitorem). Trimry R2 a R3 se nastavuje kolektorové napětí, event. kolektorový proud. Trimrem R1 nastavujeme napětí hradla tranzistoru. Svorky V+, A+, COM jsou určeny pro připojení multimetru myDAQ.

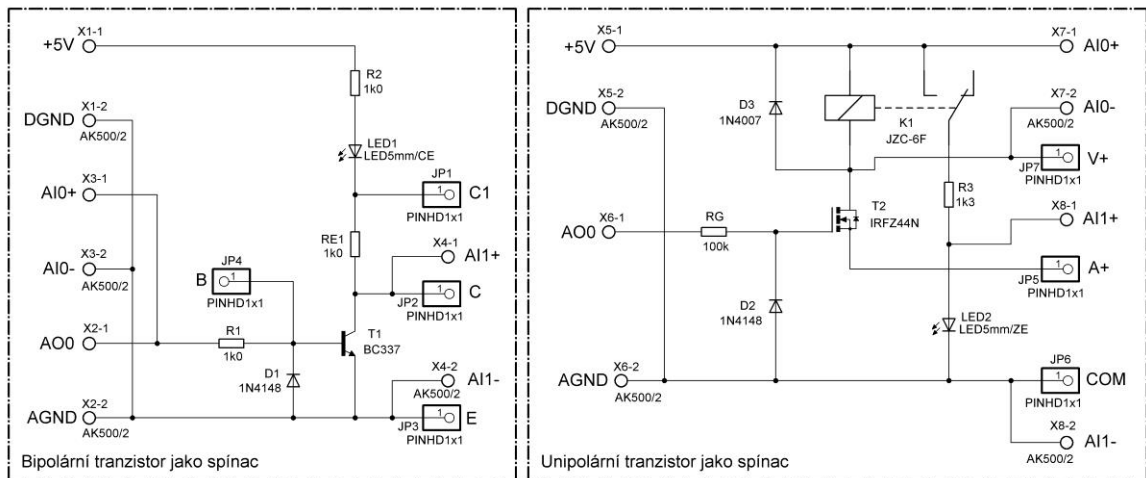
5.1.7 Měřicí přípravek M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače



Obr. 33. Elektrické zapojení přípravku M7

Přípravek M7 je zapojen jako jednostupňový zesilovač s bipolárním tranzistorem npn v zapojení se společným emitorem. Odporů RB1, R1, RB2 se provádí nastavení bázevého předpětí tranzistoru. Kolektorový proud se nastavuje kombinací odporů R2, RC1. Stabilizace polohy pracovního bodu je provedena bázevým děličem a emitorovým odporem RE1. Kondensátory CV1, CV2 jsou vazební, CE1 slouží k střídavému uzemnění emitoru tranzistoru. Odporů R1 a R2 jsou snímací odporů pro měření příslušných proudů.

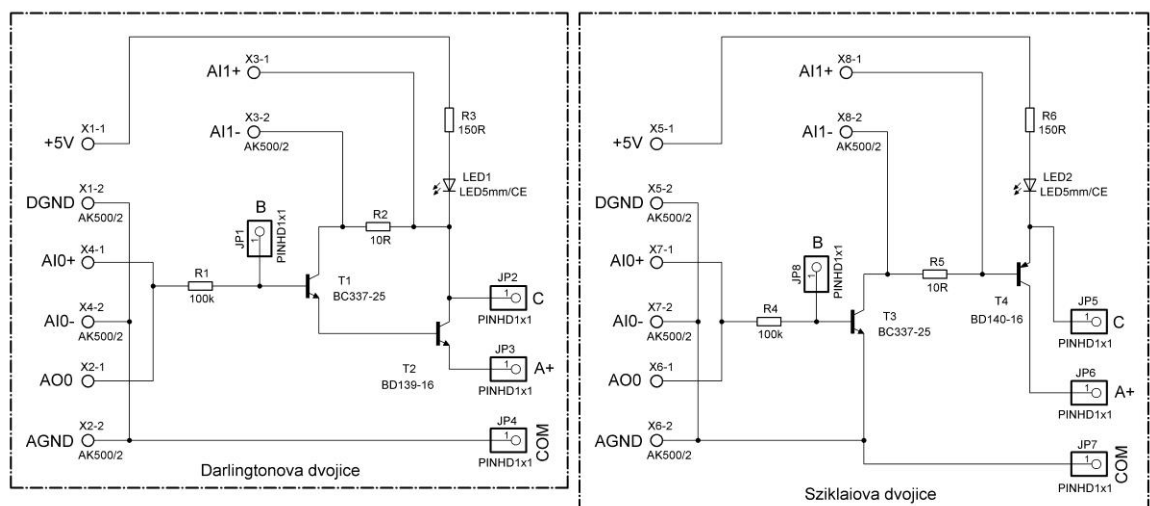
5.1.8 Měřicí přípravek M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače



Obr. 34. Elektrické zapojení přípravku M8

Přípravek M8 je složen ze dvou obvodů – bezkontaktního spínače s bipolárním npn tranzistorem se svítivou diodou v kolektoru a spínače s unipolárním tranzistorem MOSFET s relé v kolektoru. Oba tranzistory jsou zapojeny se společným emitorem.

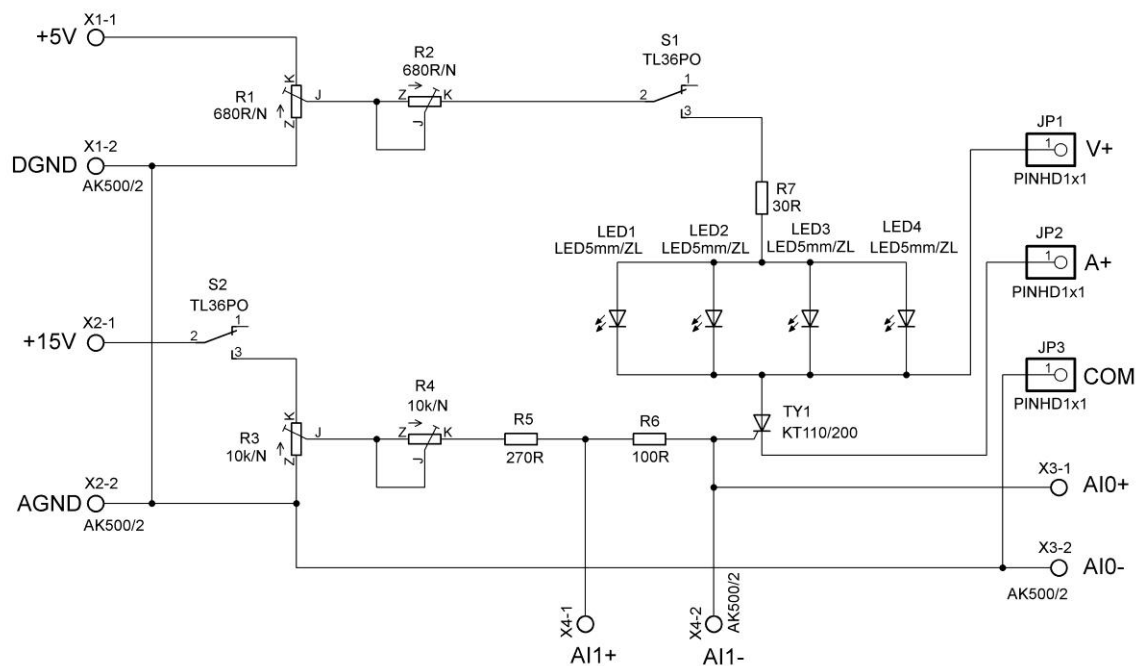
5.1.9 Měřicí přípravek M9: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů



Obr. 35. Elektrické zapojení přípravku M9

Přípravek M9 slouží k ověření chování Darlingtonova zapojení tranzistorů a Sziklaiova zapojení tranzistorů (tzv. komplementární Darlington). Obvody jsou koncipovány tak, aby bylo možno měřit všechny proudy tekoucí tranzistory.

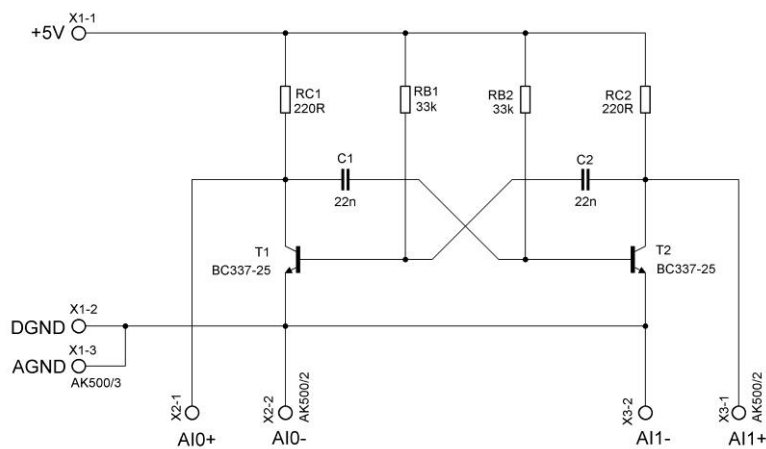
5.1.10 Měřicí přípravek M10: Měření základních parametrů tyristoru



Obr. 36. Elektrické zapojení přípravku M10

Přípravek M10 představuje stejnosměrný bezkontaktní spínač se závěrně blokujícím tyristorem. Hodnoty součástek jsou navrženy tak, aby anodový proud tekoucí sepnutým tyristorem byl cca 80 mA; sepnutý stav indikují svítivé diody LED1 až LED4. Spínač S1 slouží k přerušení anodového proudu a tím vypnutí tyristoru. Trimry R3, R4 se nastavuje proud tekoucí řídicí elektrodou tyristoru. Trimry R1, R2 se nastavuje hodnota anodového proudu tyristorem. Odpor R7 omezuje anodový proud v sepnutém stavu. Odpor R6 je snímací rezistor pro měření proudu řídicí elektrody. Spínačem S2 se řídicí elektroda odpojuje od zdroje řídicího napětí.

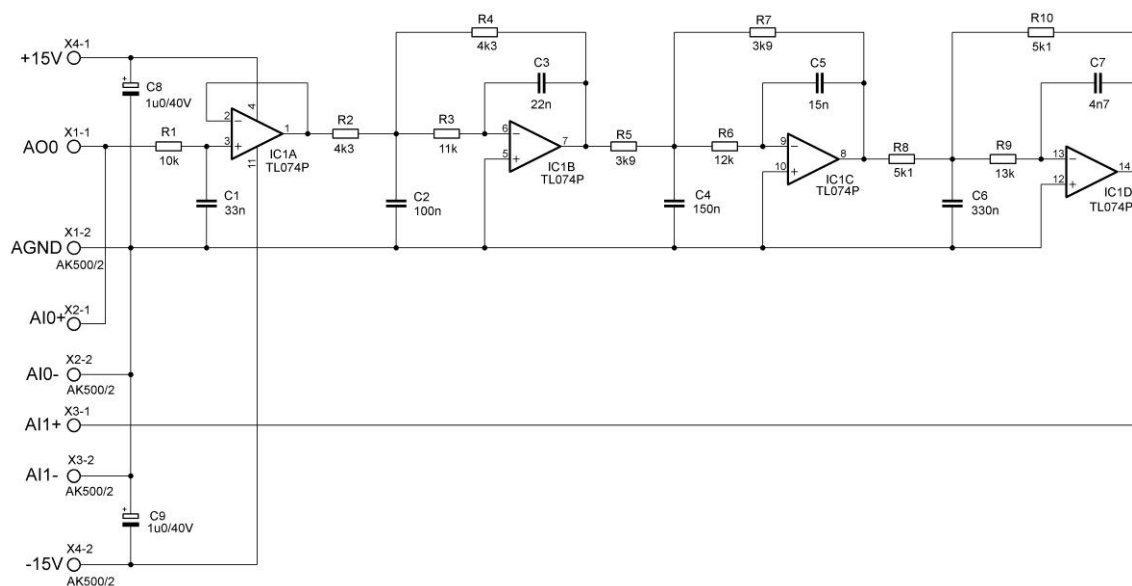
5.1.11 Měřicí přípravek M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory



Obr. 37. Elektrické zapojení přípravku M11

Přípravek M11 je zapojen jako souměrný astabilní klopný obvod s bipolárními tranzistory npn. Žáci si zde mají ověřit vlastnosti a chování tohoto typu klopných obvodů.

5.1.12 Měřicí přípravek M12: Aktivní RC kmitočtové filtry

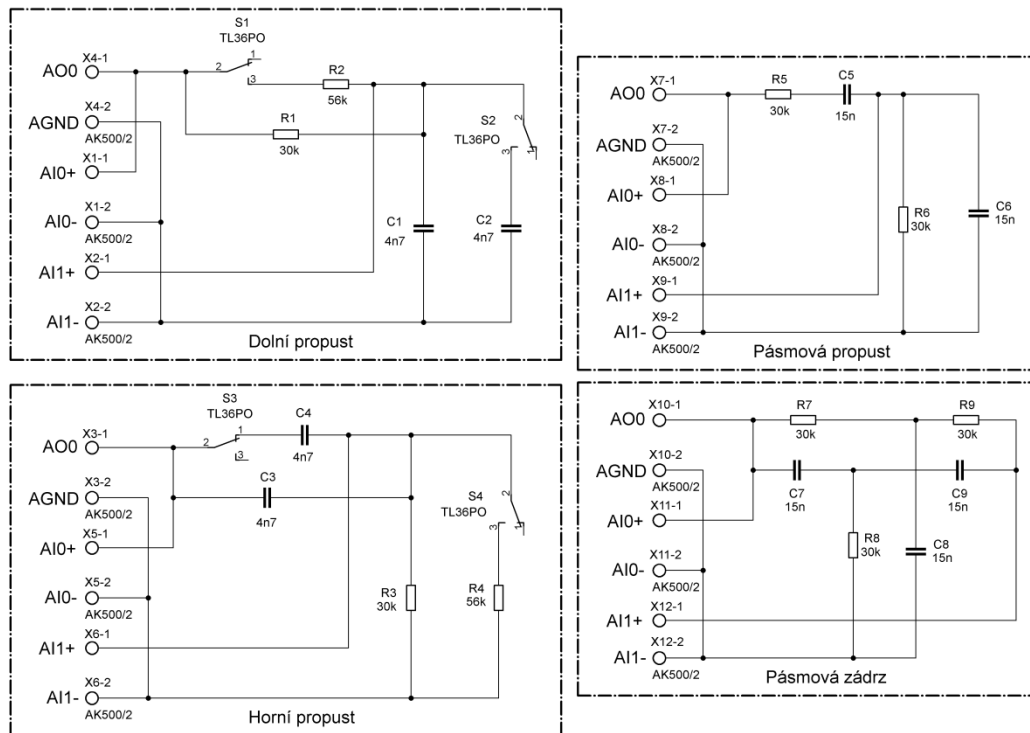


Obr. 38. Elektrické zapojení přípravku M12

Měřicí přípravek M12 představuje aktivní RC kmitočtový filtr typu dolní propusti v Sallenově-Keyově zapojení s Butterworthovou aproximací. Řád navrženého filtru je 7, tj. se strmostí -140 dB/dek. Mezní zlomový kmitočet je 500 Hz. Vzhledem k nízkému

zatěžovacímu proudu symetrického zdroje myDAQ ± 15 V (max. 32 mA), jsou voleny nízkopříkonové operační zesilovače TL 074 (mají max. 2 mA na jeden operační zesilovač). Připojení přístrojů myDAQ je zřejmé z označení svorek.

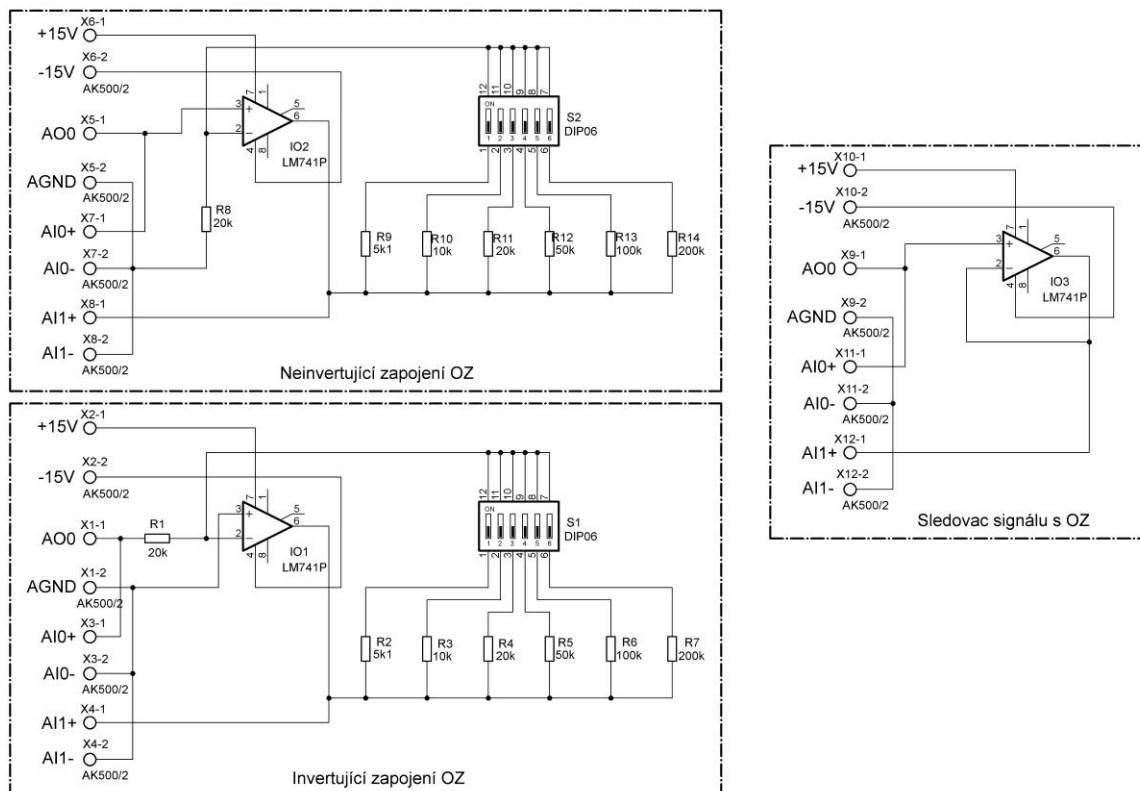
5.1.13 Měřicí přípravek M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů



Obr. 39. Elektrické zapojení přípravku M13

Přípravek M13 představuje různá zapojení pasivních RC kmitočtových filtrů. Spínače S1 až S4 slouží ke změně hodnot odporů či kapacity v příslušných kmitočtových filtrech, a tím i ke změně chování těchto obvodů. Pásmová zadrž je zapojena jako dvojitý článek T.

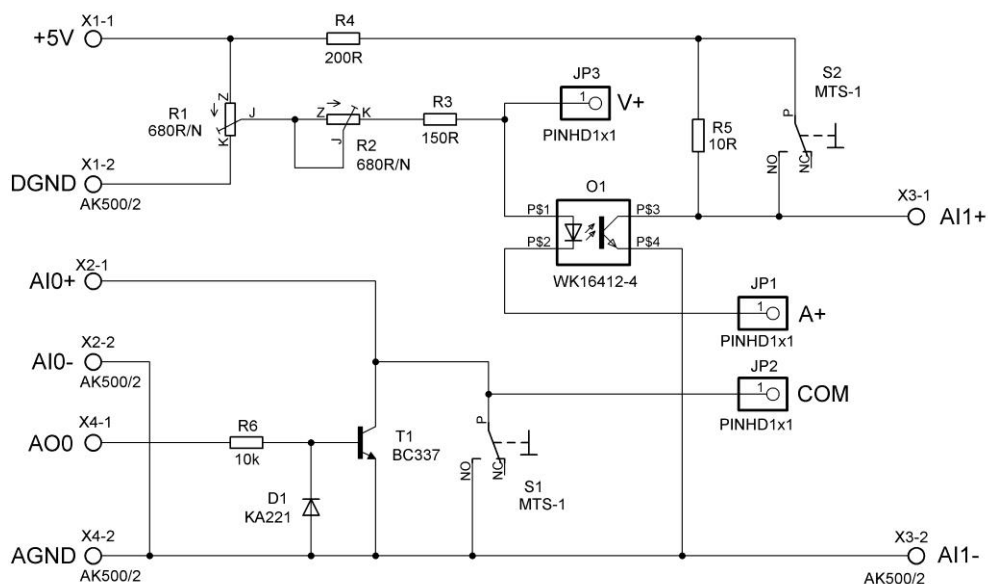
5.1.14 Měřicí přípravek M14: Měření základních zapojení s operačními zesilovači



Obr. 40. Elektrické zapojení přípravku M14

Přípravek M14 je určen k ověření poznatků o operačních zesilovačích. Skládá se ze tří obvodů – neinvertujícího zesilovače s nastavitelným napěťovým zesílením, invertujícího zesilovače s nastavitelným napěťovým zesílením a sledovače signálu. Úkolem žáků je ověřit vliv změn zpětnovazebních odporů na chování celého zapojení. U obvodů není provedeno vykompenzování vstupních nesymetrií operačních zesilovačů pomocí balančních odporů, poněvadž to autor považuje za zbytečné z hlediska dosahované přesnosti měření a demonstračního účelu přípravku.

5.1.15 Měřicí přípravek M15: Měření optoelektronického vazebního členu



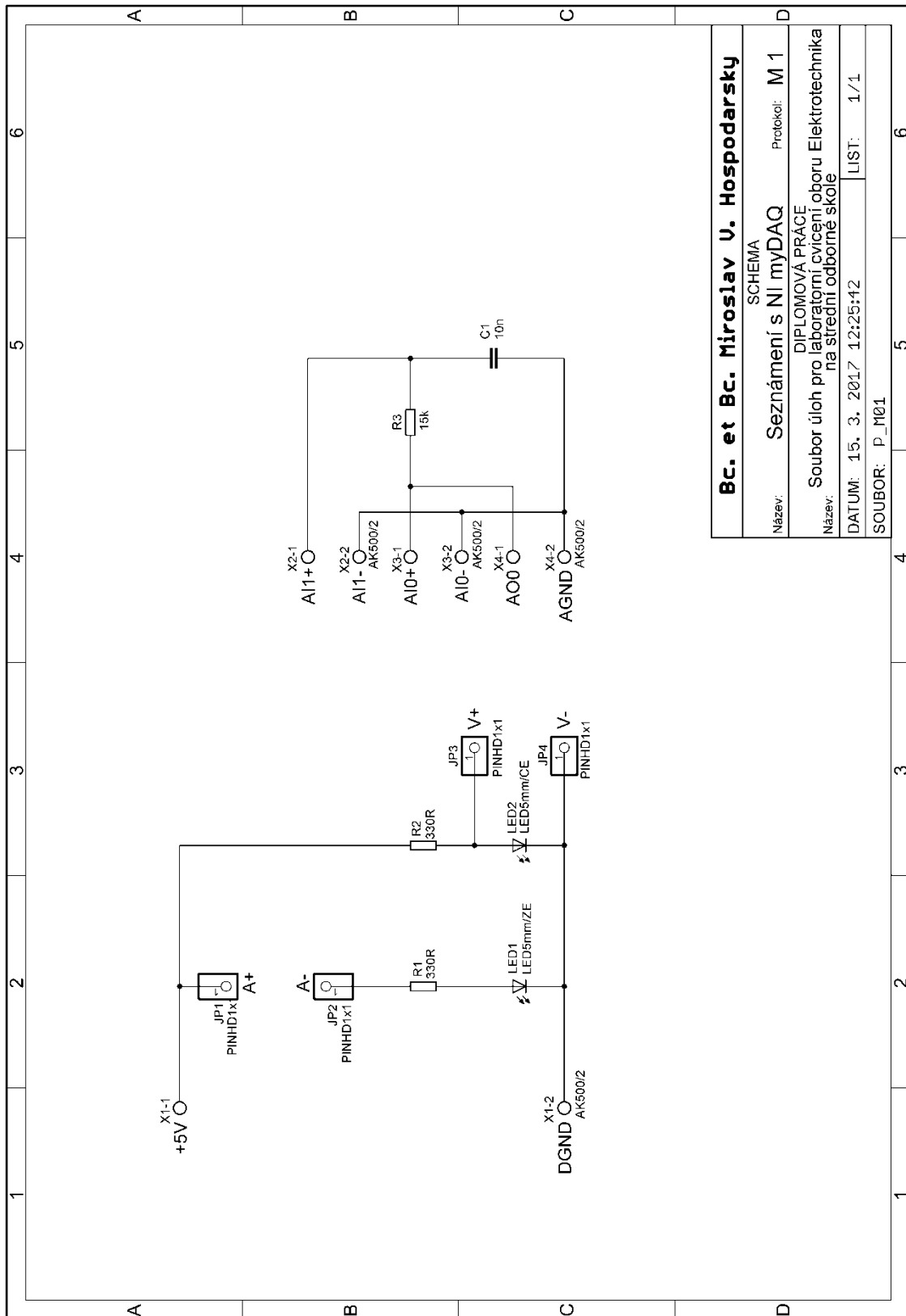
Obr. 41. Elektrické zapojení přípravku M15

Přípravek M15 slouží k ověření vlastností optoelektronického vazebního členu. Použit je optoelektronický vazební člen (optron) s infračervenou fotodiodou na vstupu a infračerveným fototranzistorem na výstupu. Fototranzistor je bez vyvedené báze, tj. bez dodatečného nastavení citlivosti (jedná se o nejrozšířenější typ zapojení optronů). Zapojení vychází z požadavku měření katalogových parametrů optronu Tesla WK 164 12-4.

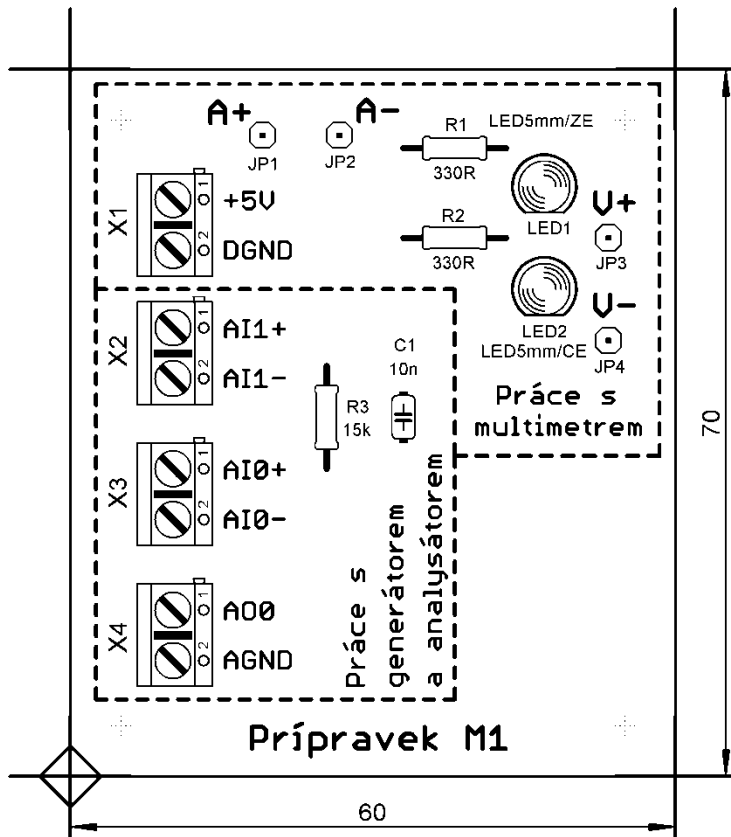
5.2 Technická dokumentace přípravků

Na následujících obrázcích čtenář najde technickou dokumentaci jednotlivých měřicích přípravků korespondující se stejně označenými zadáními měřicích úloh, které jsou uvedeny v přílohách. Autor považuje za důležité upozornit, že technická dokumentace uvedená v tištěné práci není úplná, neboť by zabrala příliš mnoho stran a autor její kompletní uvedení ani nepovažoval za účelné. Pokud tedy čtenář uvažuje o výrobě měřicích přípravků, necht' využije výrobní dokumentaci uvedenou autorem v elektronické podobě na kompaktním disku, který je nedílnou součástí této diplomové práce. Každý přípravek obsahuje následující soubory: schéma zapojení, rozpisku součástek, klišé plošných spojů, okótovaný osazovací výkres (s případnými propojkami), 3D pohled, fotografii osazeného přípravku, motiv pro popis gravírovacím laserem, okótovaný vrtací plán.

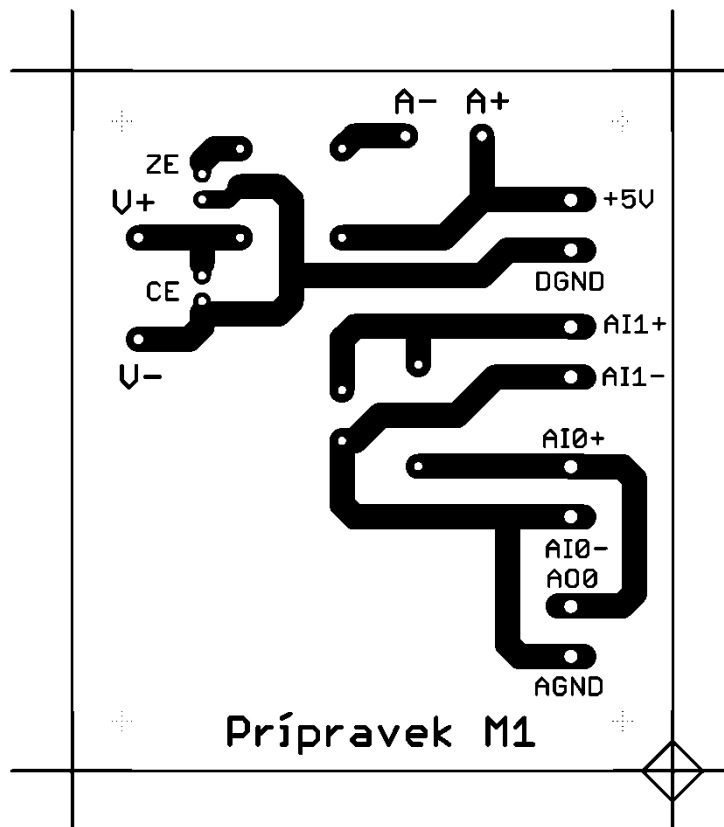
5.2.1 Měřicí přípravek M1: Seznámení s rozhraním NI myDAQ



Obr. 42. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M1



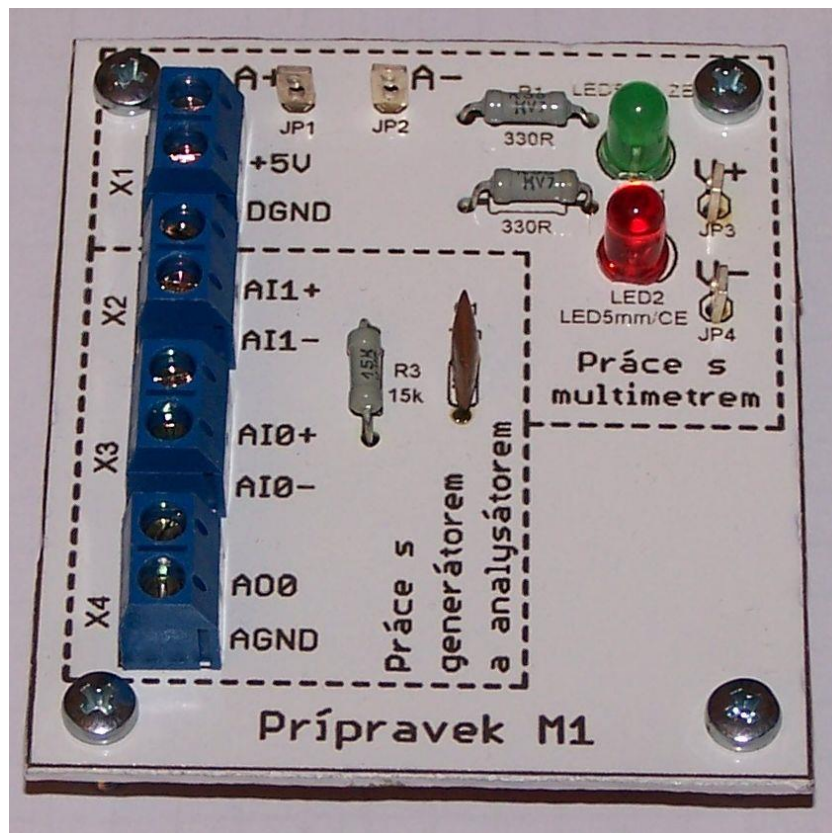
Obr. 43. Osazovací schéma přípravku M1



Obr. 44. Klišé plošných spojů přípravku M1

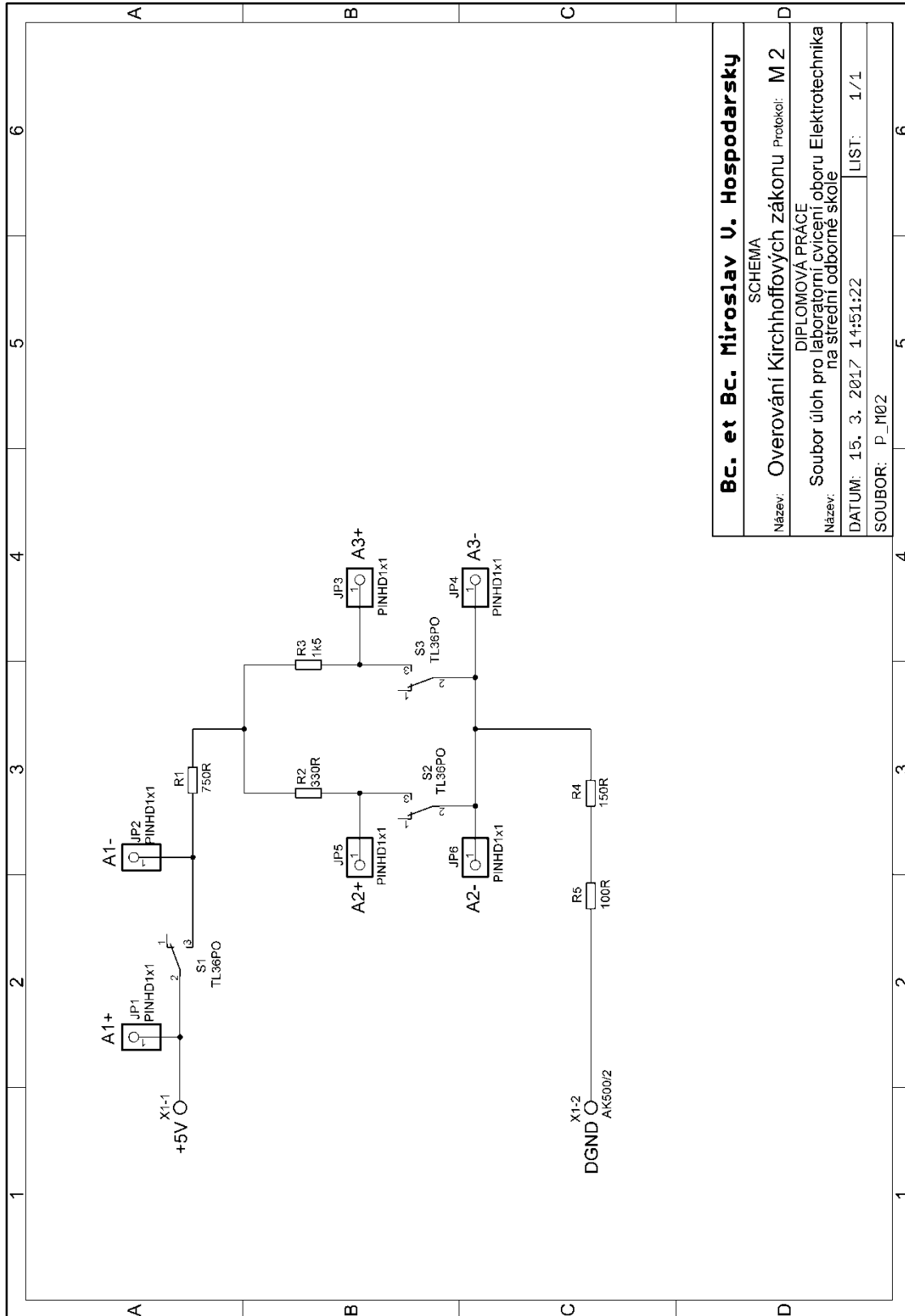


Obr. 45. 3D pohled na přípravek M1

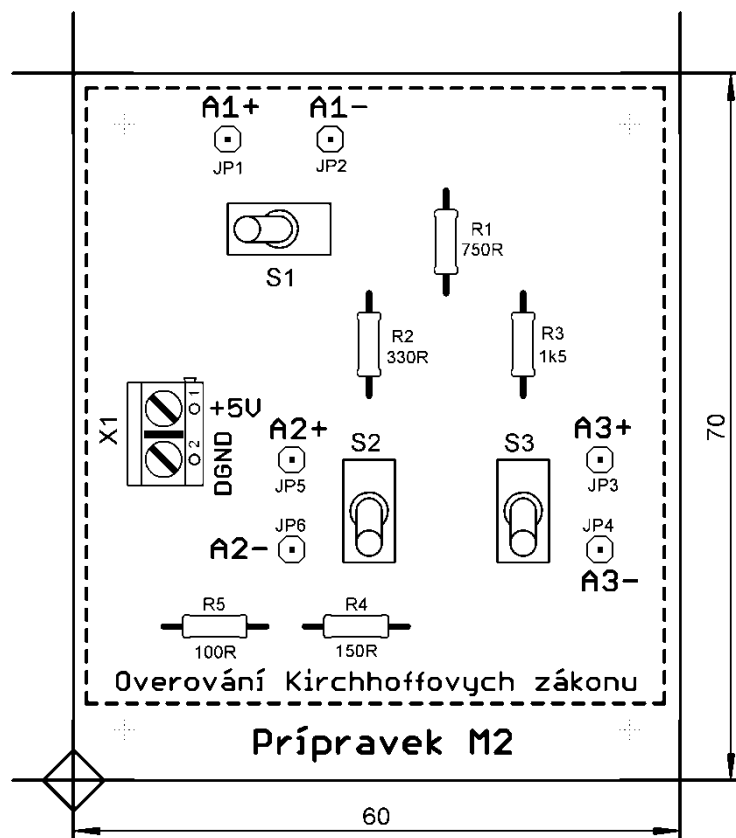


Obr. 46. Fotografie přípravku M1

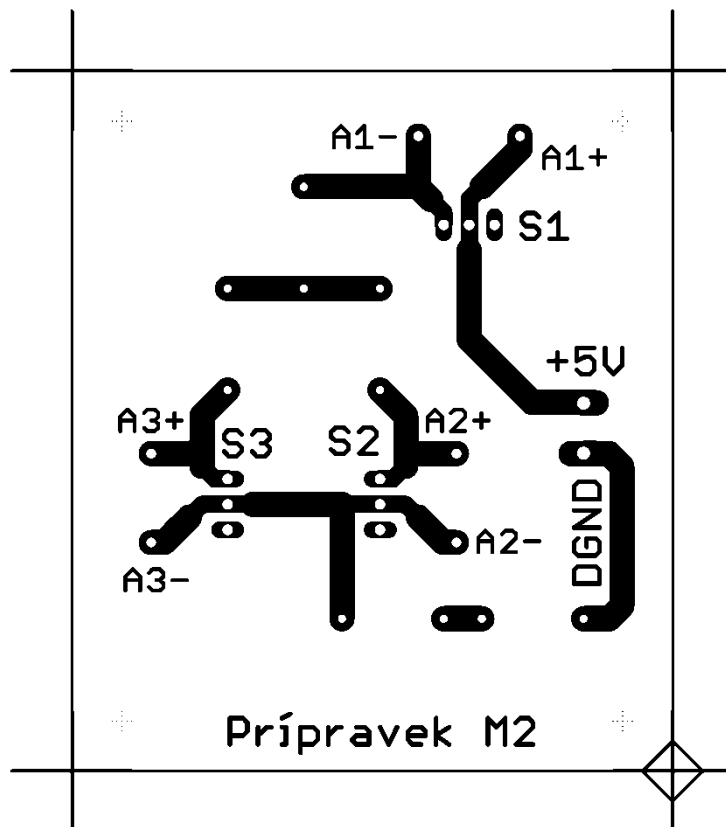
5.2.2 Měřicí přípravek M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů



Obr. 47. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M2



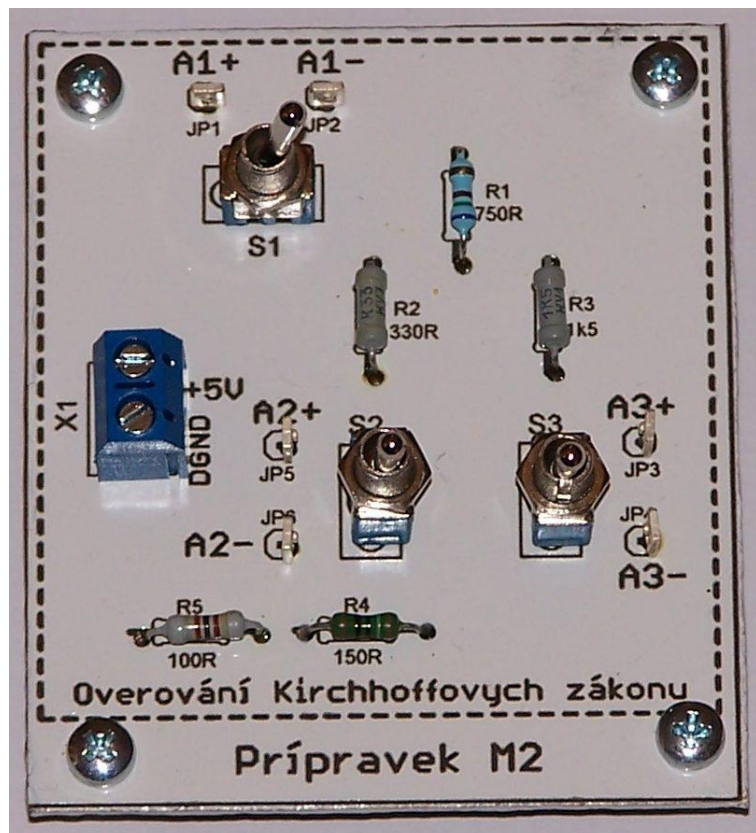
Obr. 48. Osazovací schéma přípravku M2



Obr. 49. Klíše plošných spojů přípravku M2

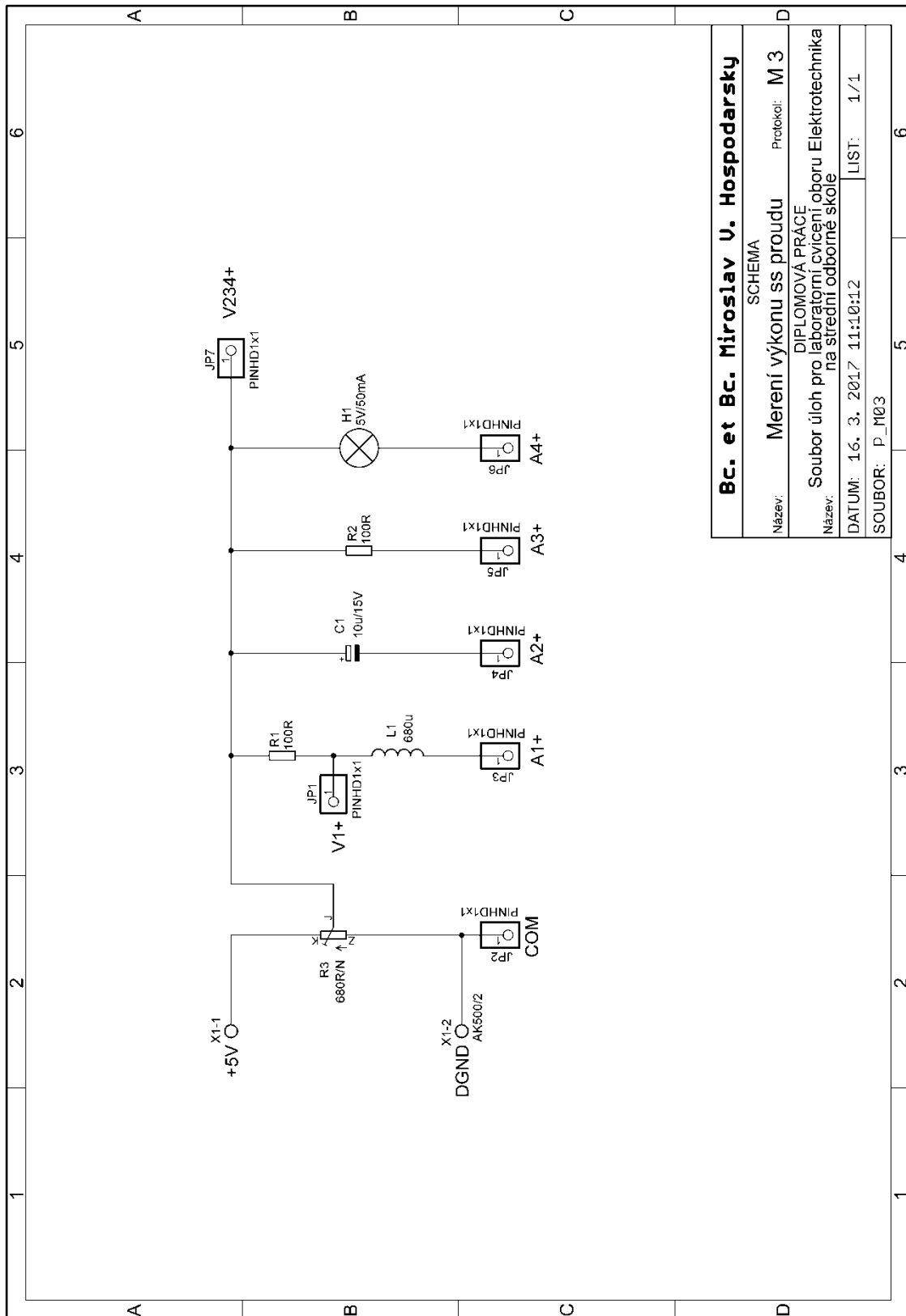


Obr. 50. 3D pohled na přípravek M2

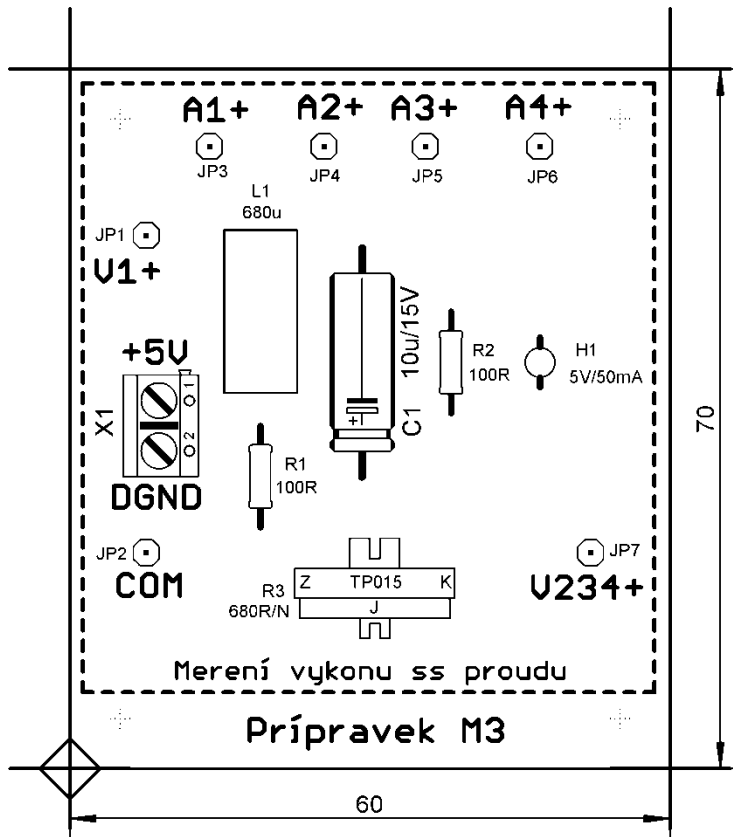


Obr. 51. Fotografie přípravku M2

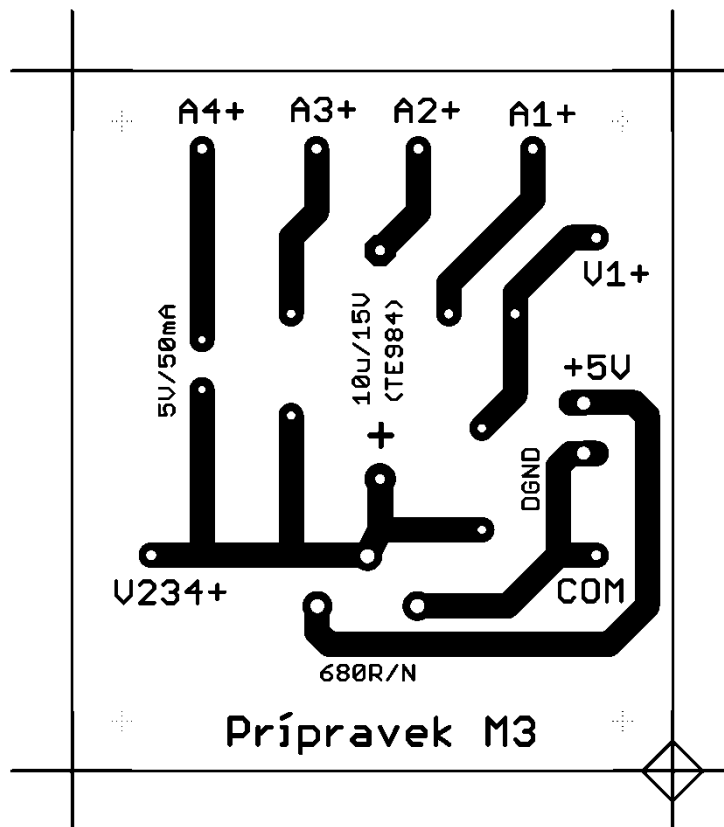
5.2.3 Měřicí přípravek M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu



Obr. 52. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M3



Obr. 53. Osazovací schéma přípravku M3



Obr. 54. Klišé plošných spojů přípravku M3

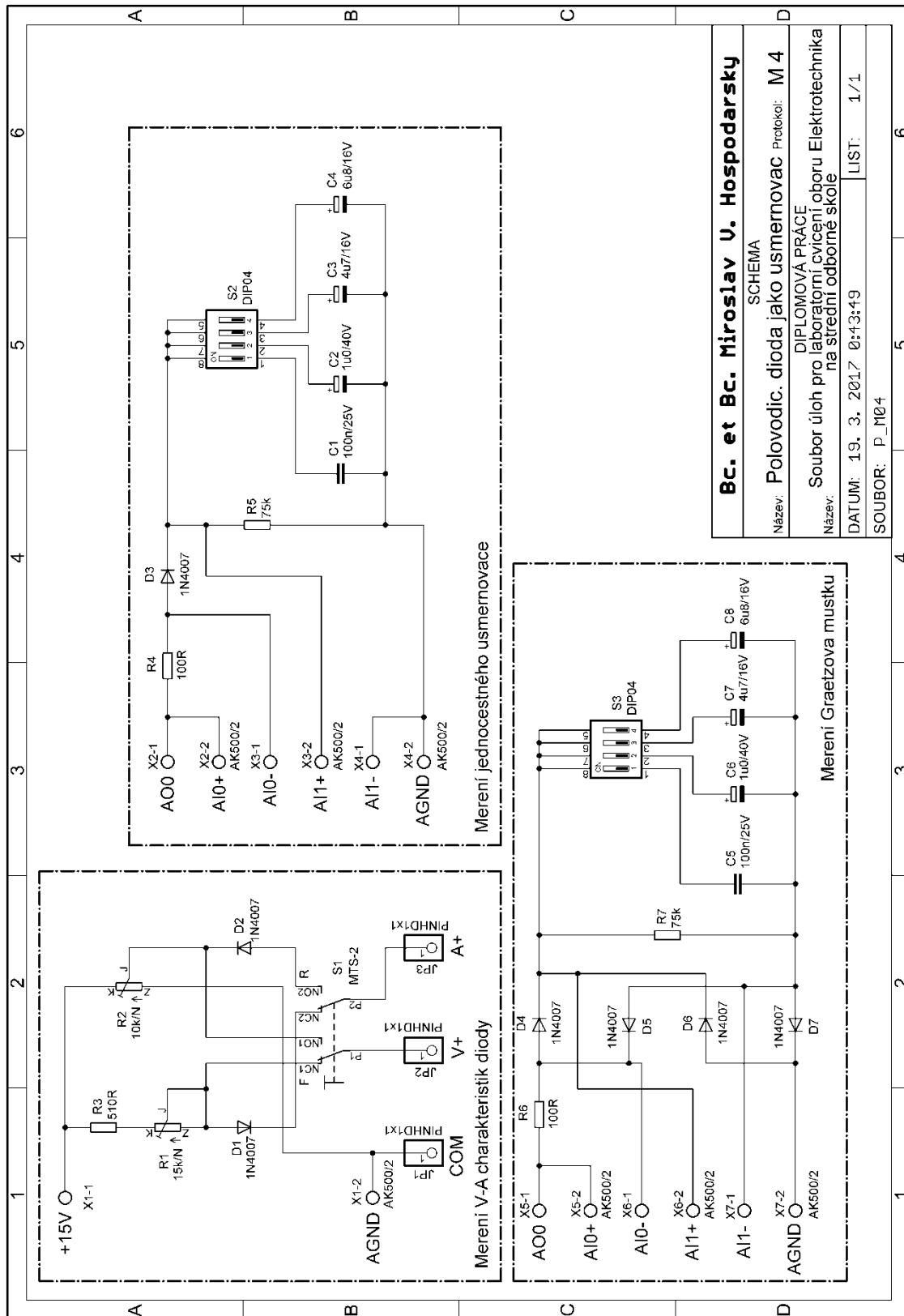


Obr. 55. 3D pohled na přípravek M3

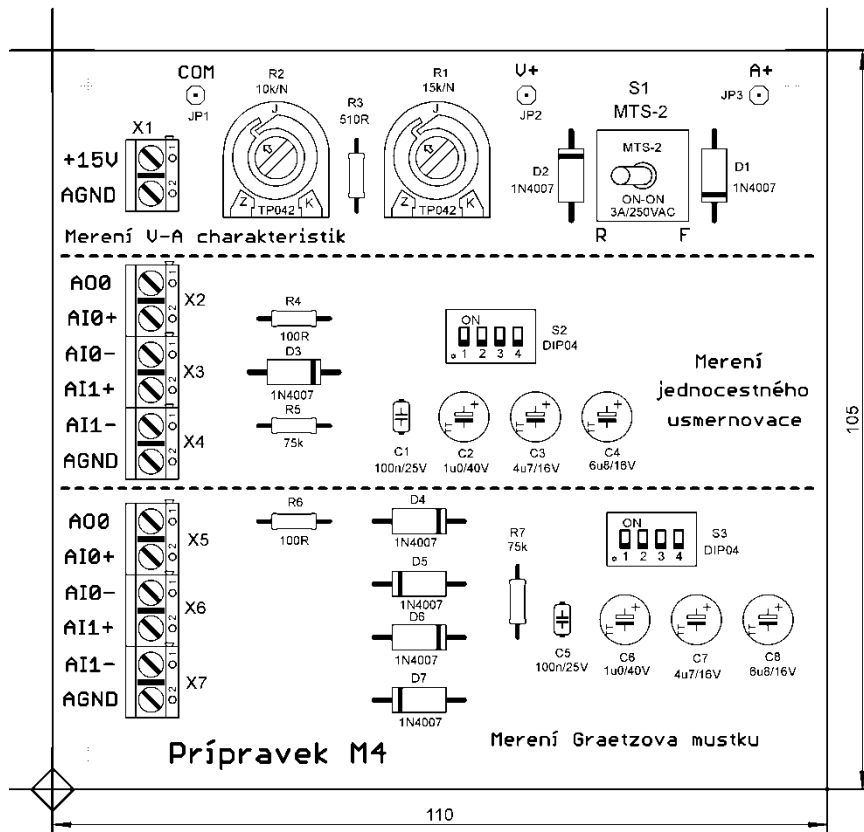


Obr. 56. Fotografie přípravku M3

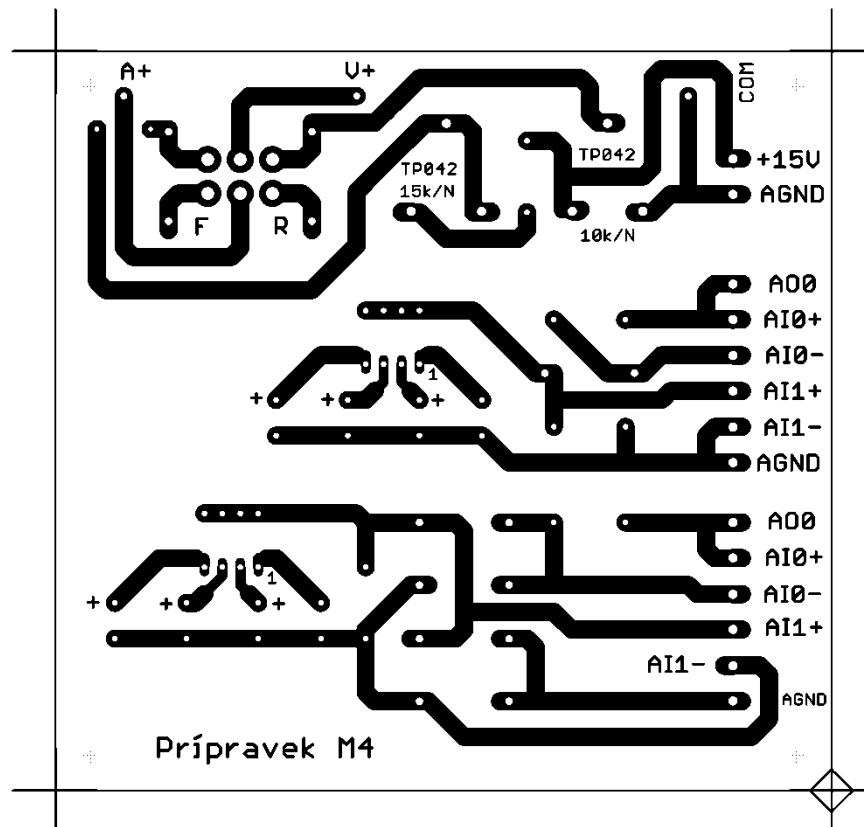
5.2.4 Měřicí přípravek M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače



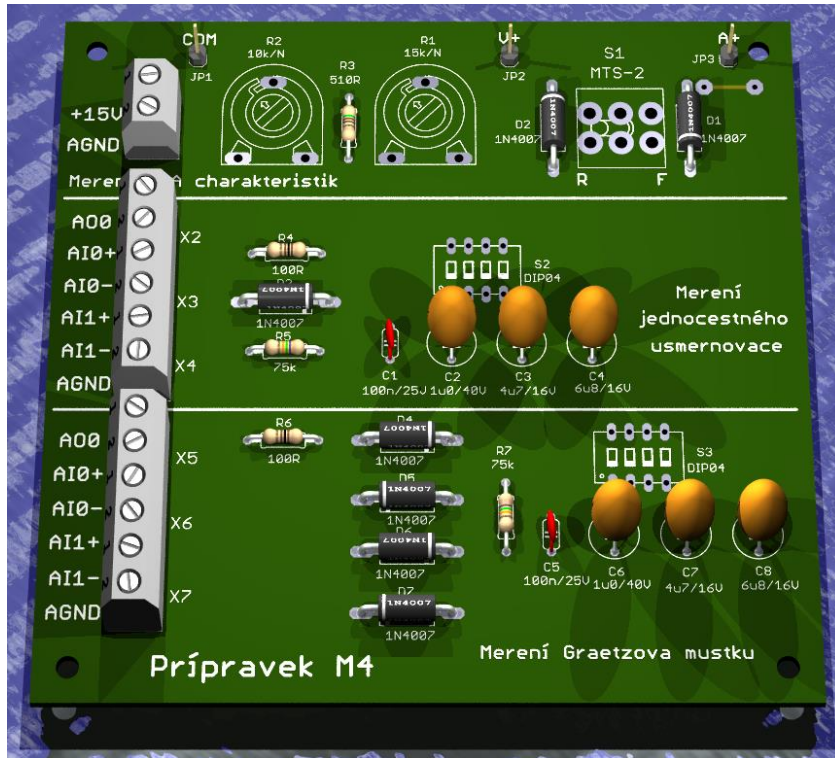
Obr. 57. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M4



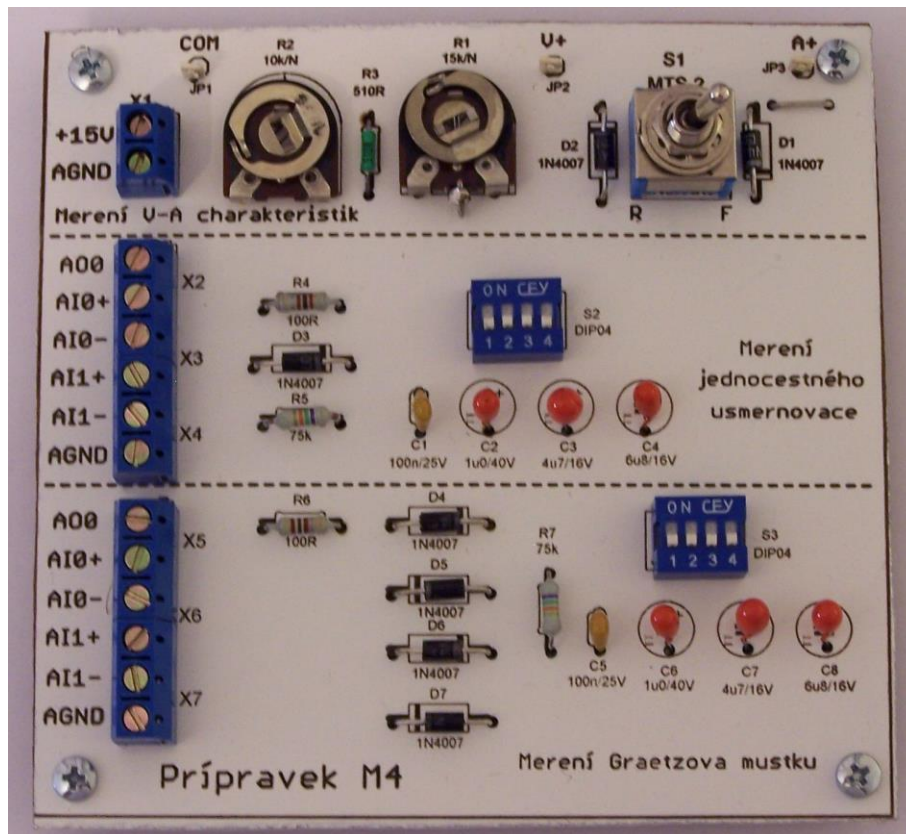
Obr. 58. Osazovací schéma přípravku M4



Obr. 59. Klišé plošných spojů přípravku M4

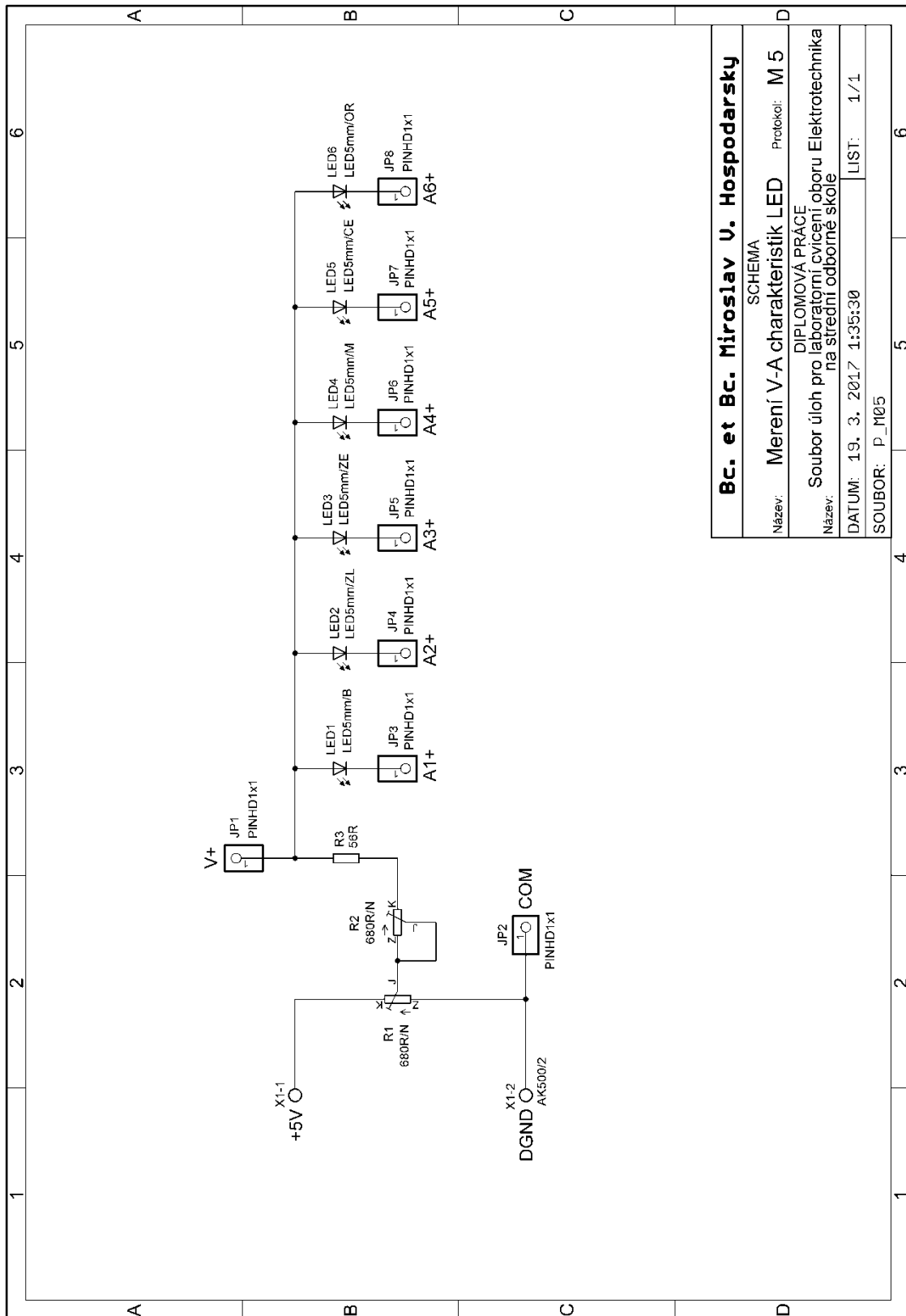


Obr. 60. 3D pohled na přípravek M4

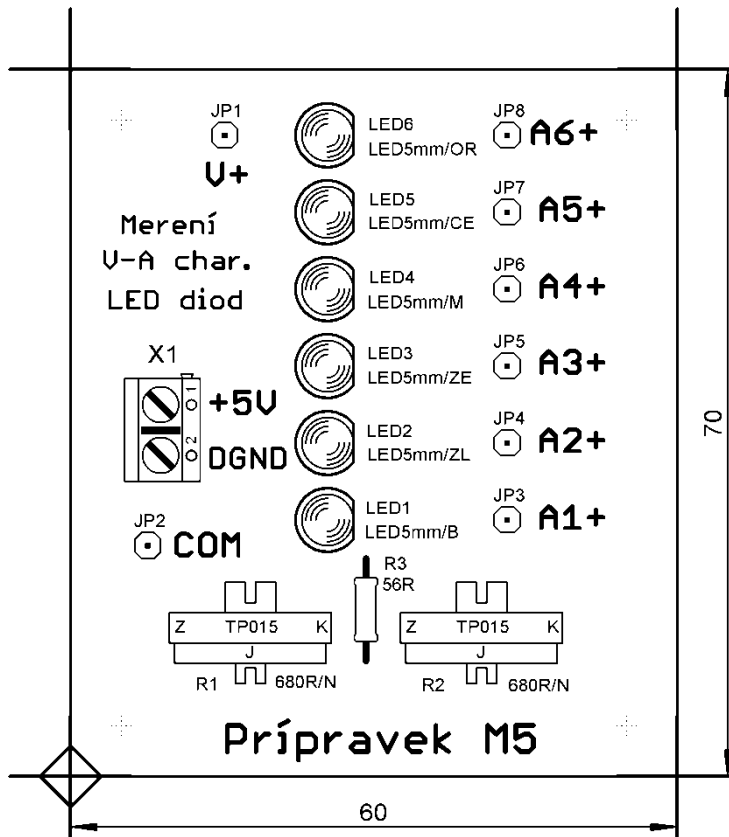


Obr. 61. Fotografie přípravku M4

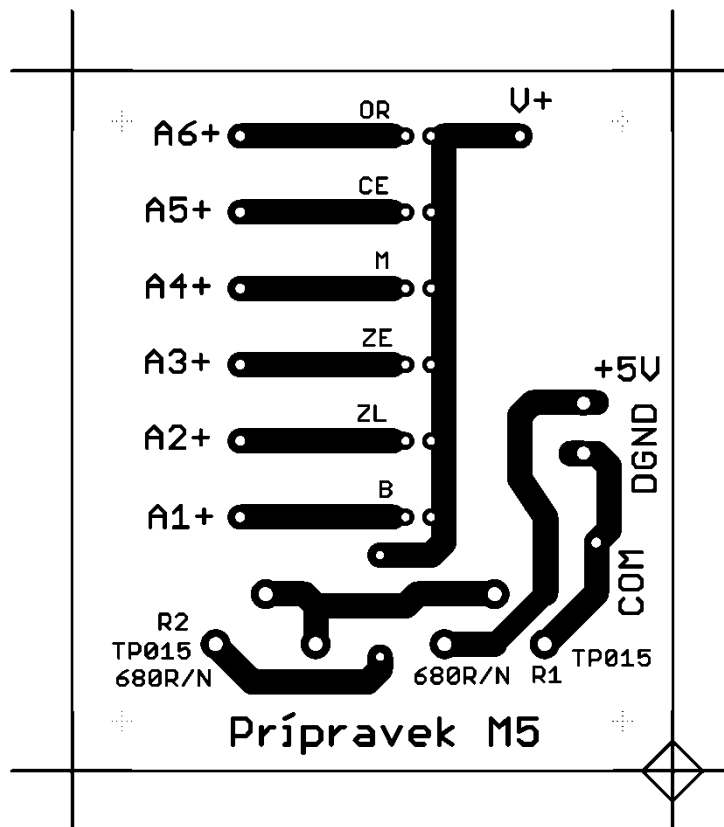
5.2.5 Měřicí přípravek M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod



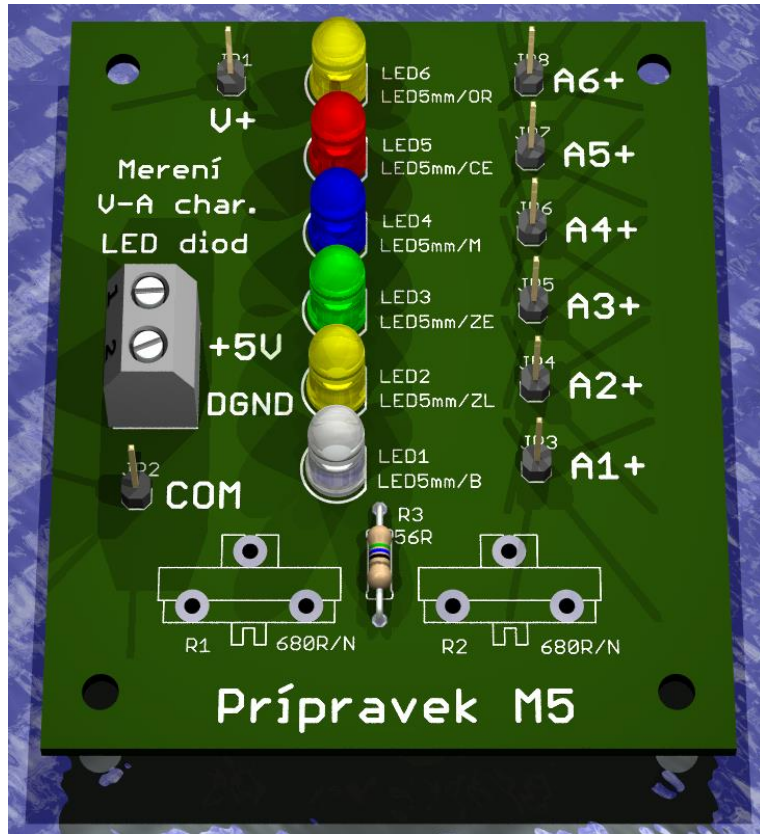
Obr. 62. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M5



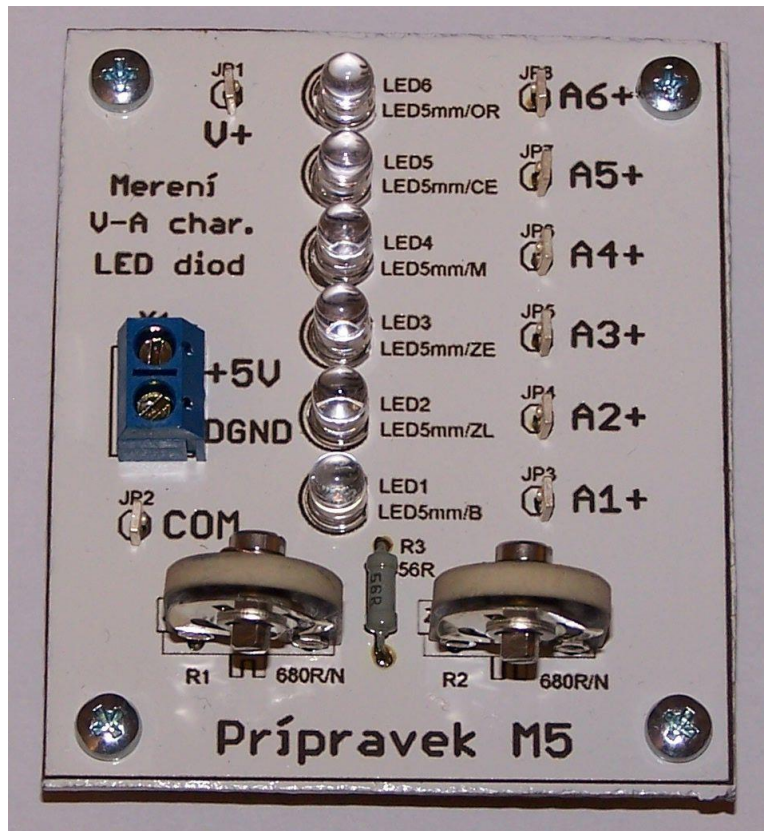
Obr. 63. Osazovací schéma přípravku M5



Obr. 64. Klišé plošných spojů přípravku M5

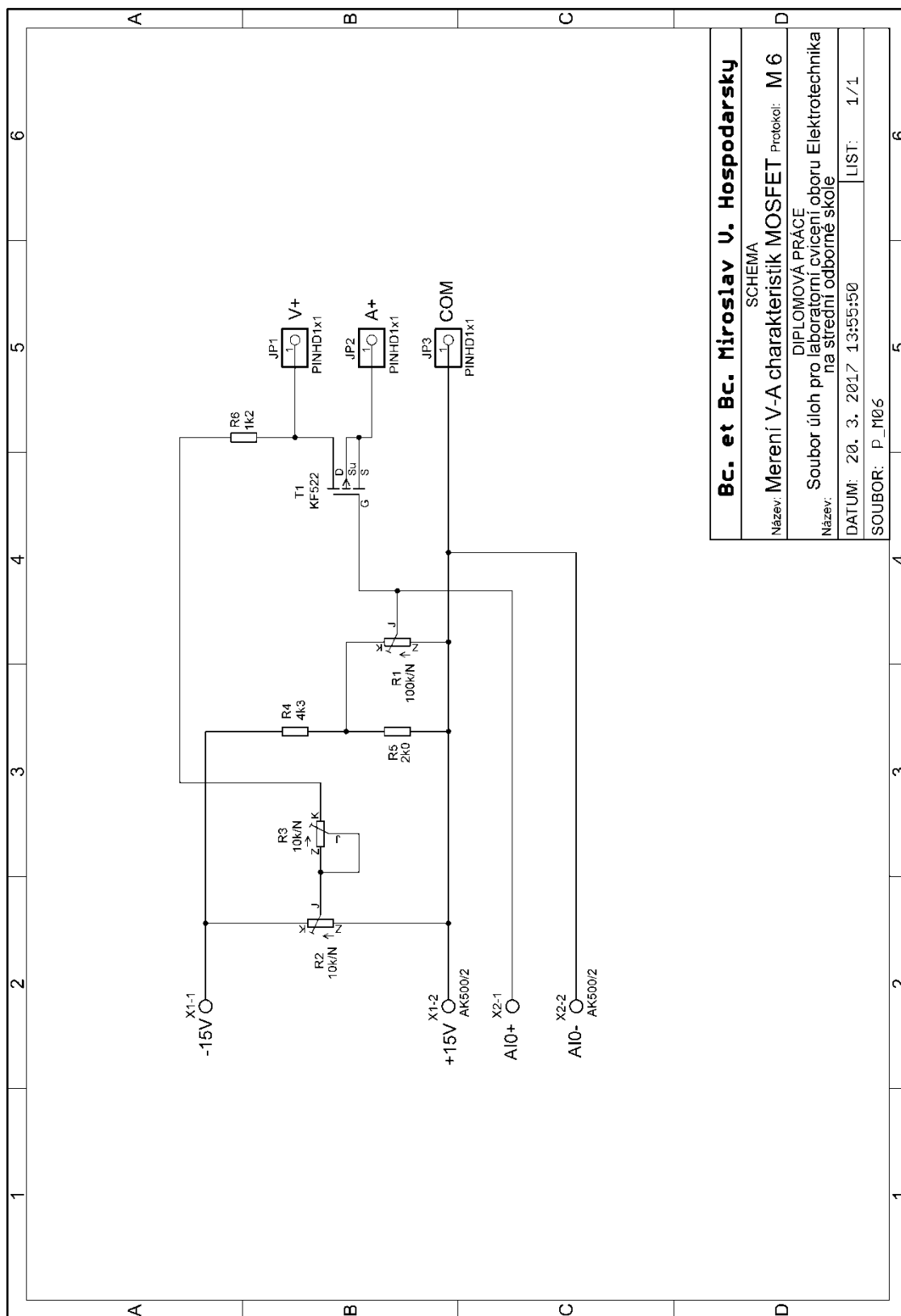


Obr. 65. 3D pohled na přípravek M5

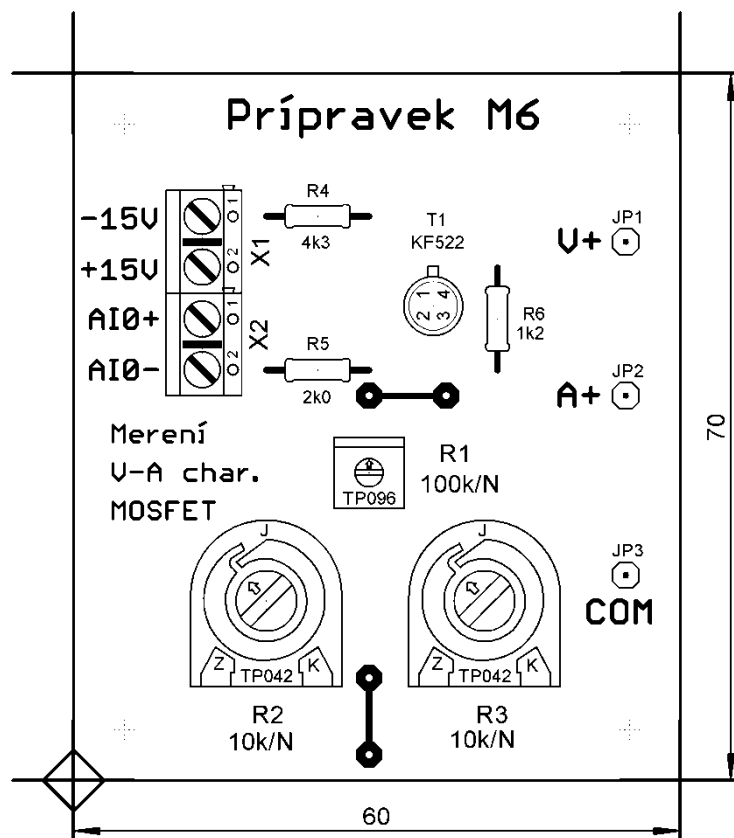


Obr. 66. Fotografie přípravku M5

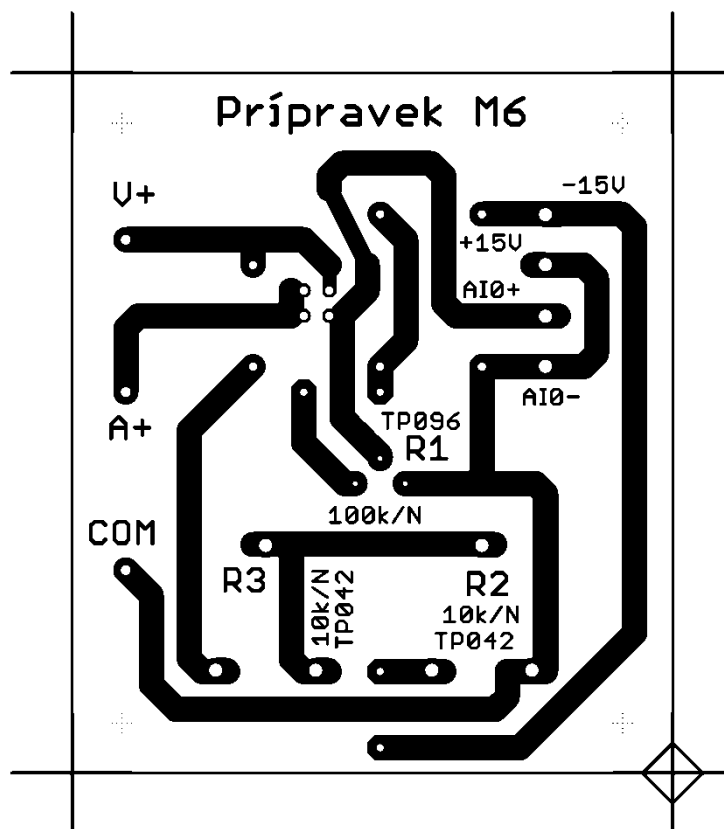
5.2.6 Měřicí přípravek M6: Měření V-A charakteristik tranzistoru MOSFET



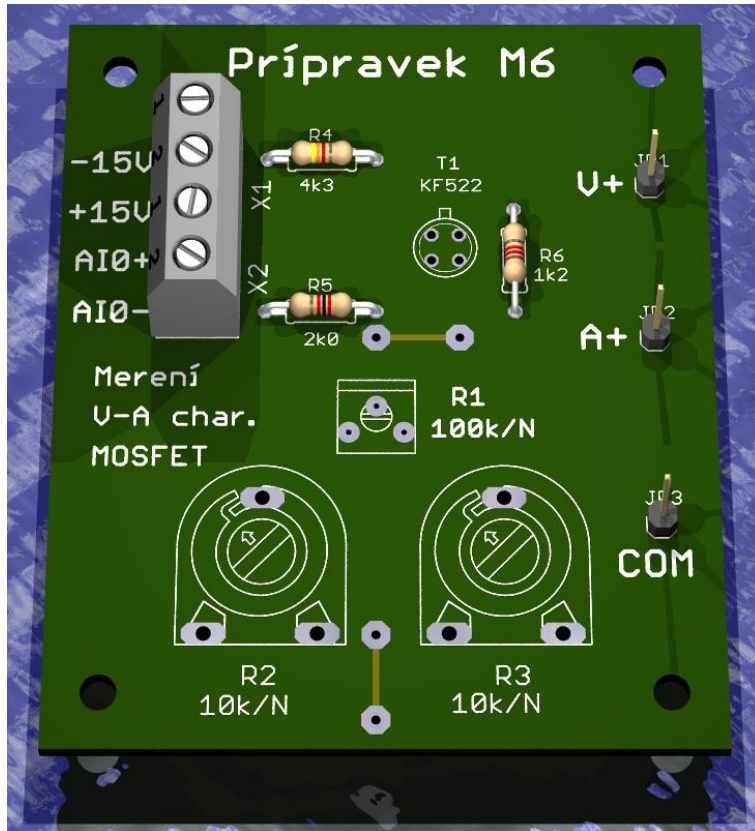
Obr. 67. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M6



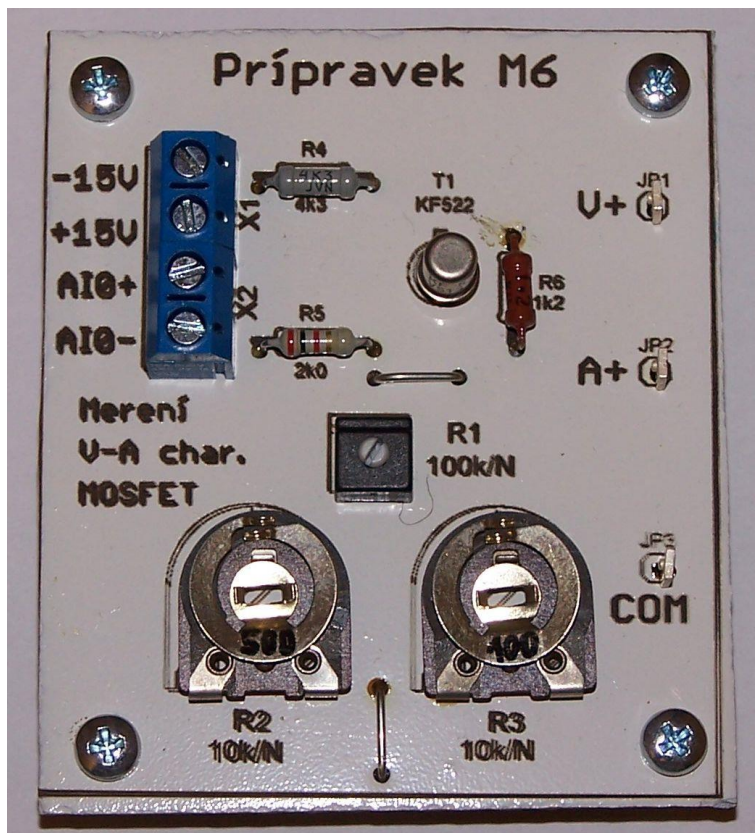
Obr. 68. Osazovací schéma přípravku M6



Obr. 69. Klišé plošných spojů přípravku M6

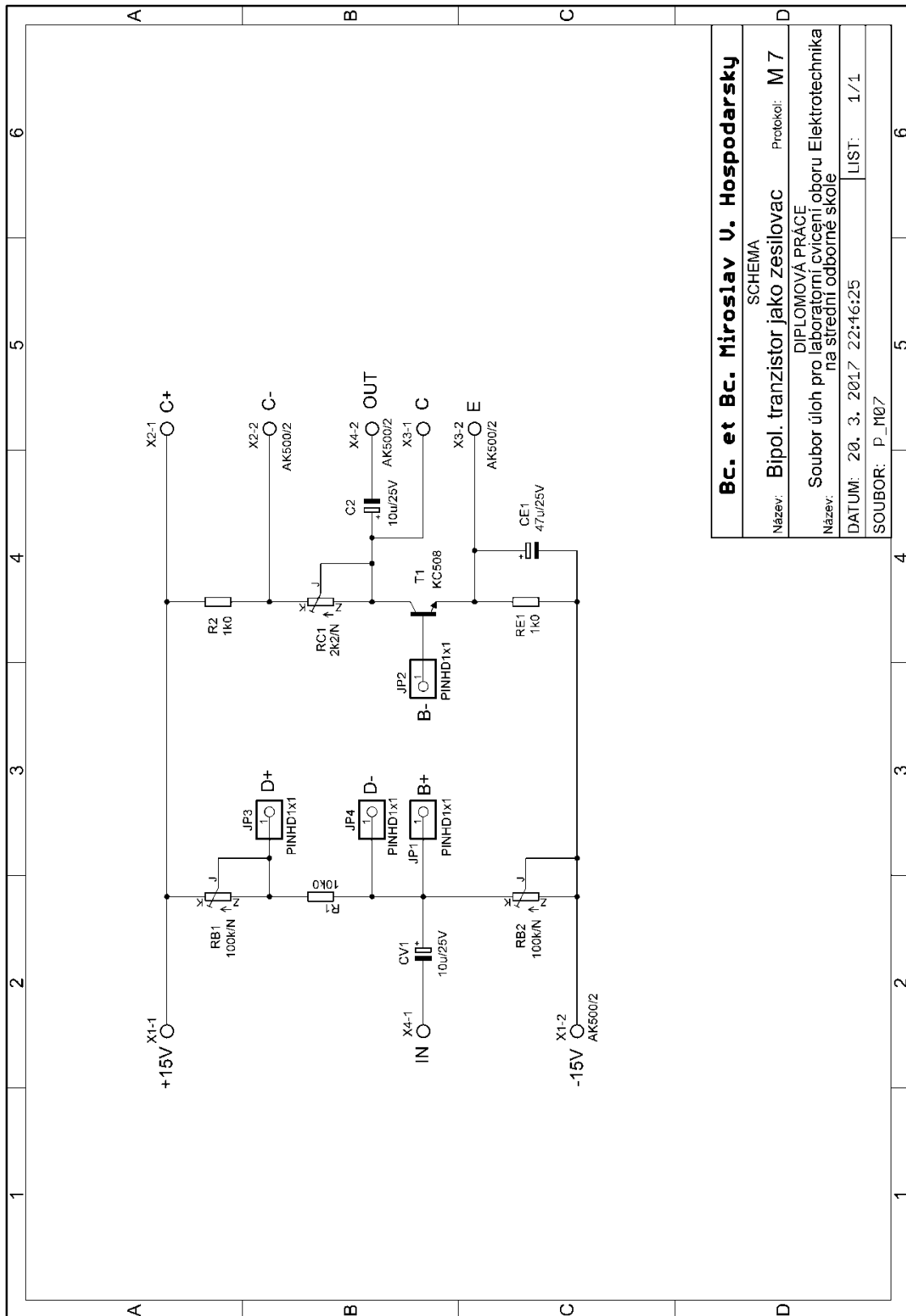


Obr. 70. 3D pohled na přípravek M6

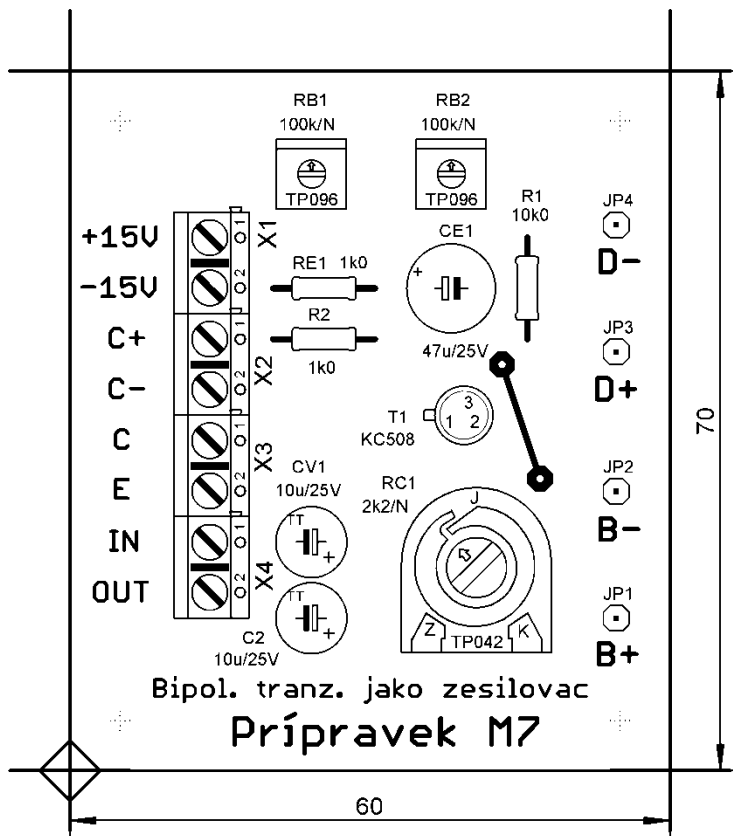


Obr. 71. Fotografie přípravku M6

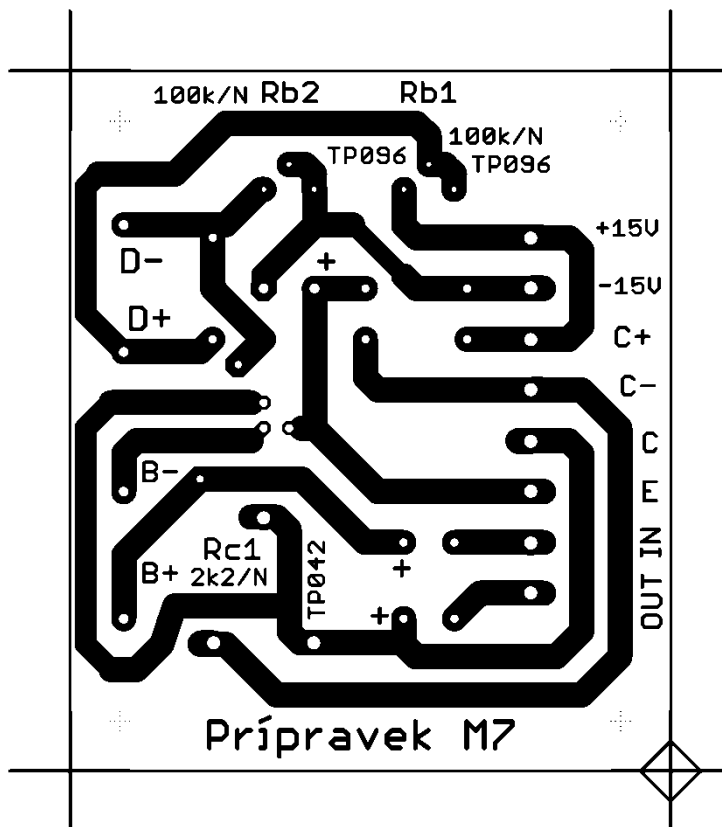
5.2.7 Měřicí přípravek M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače



Obr. 72. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M7



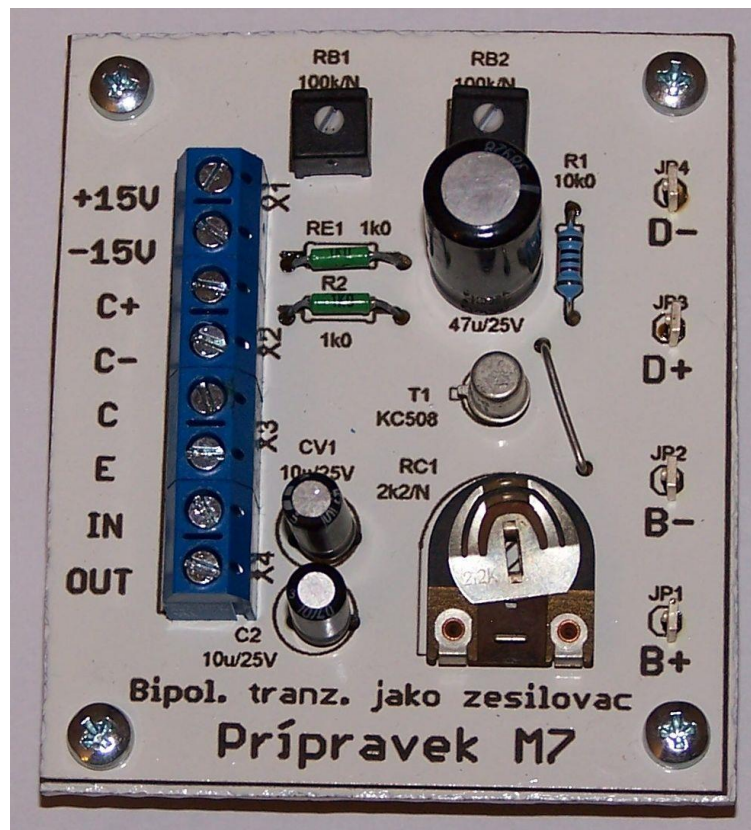
Obr. 73. Osazovací schéma přípravku M7



Obr. 74. Klišé plošných spojů přípravku M7

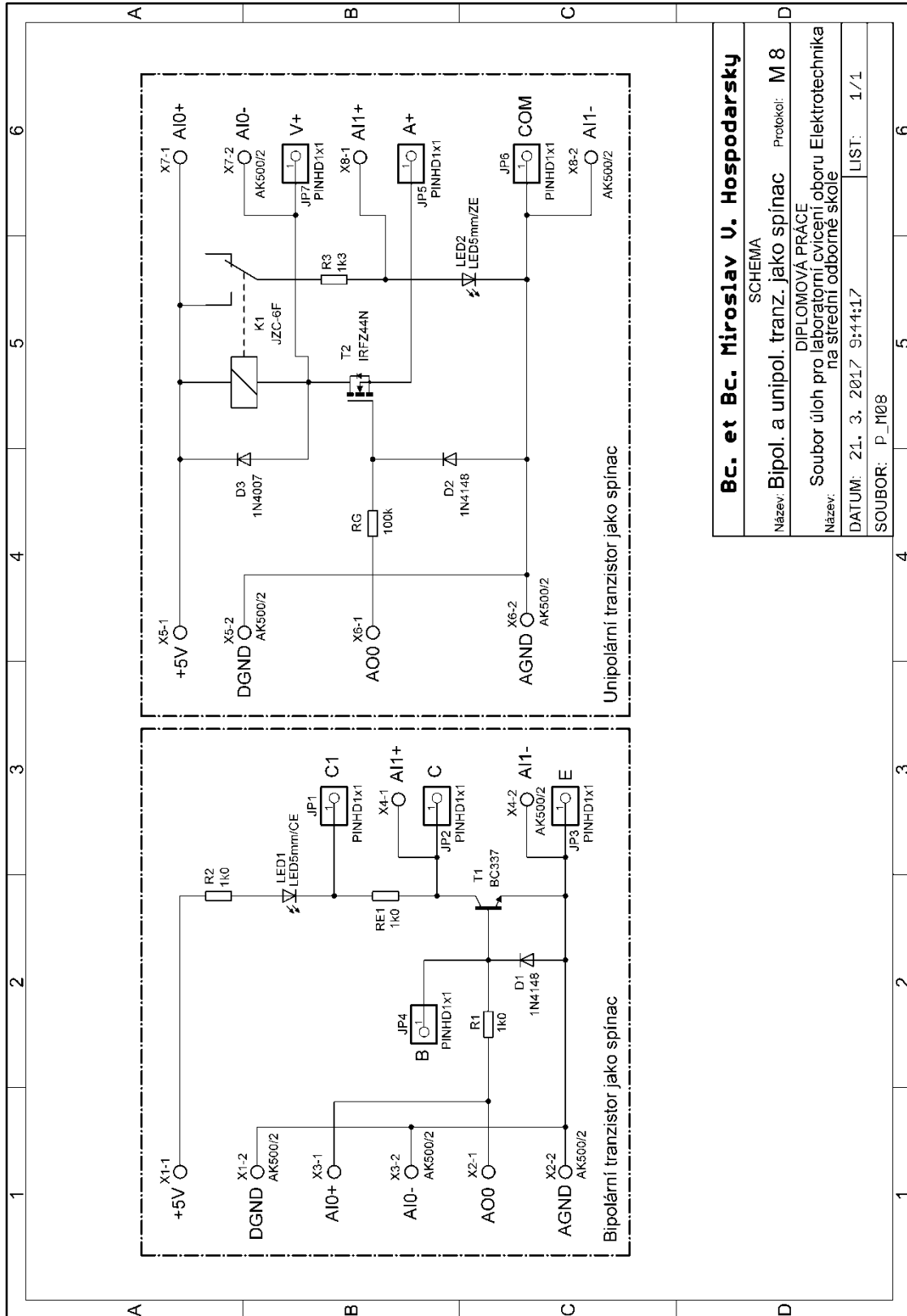


Obr. 75. 3D pohled na přípravek M7

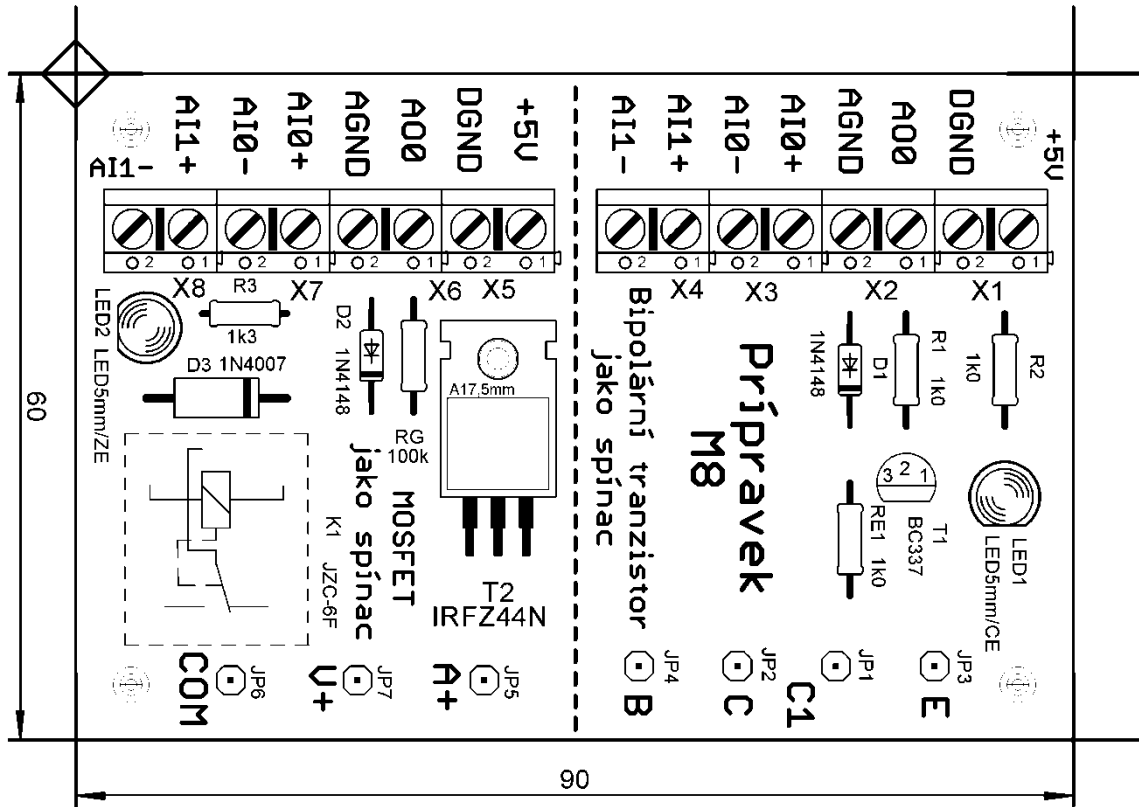


Obr. 76. Fotografie přípravku M7

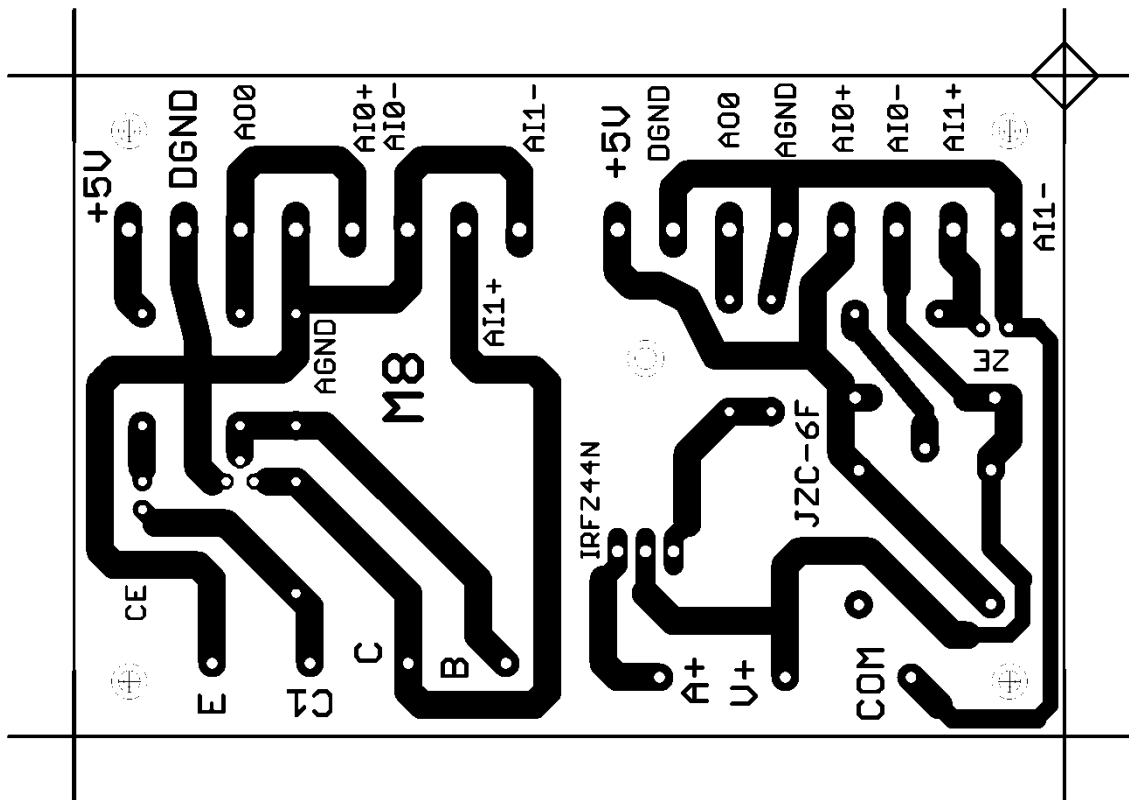
5.2.8 Měřicí přípravek M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače



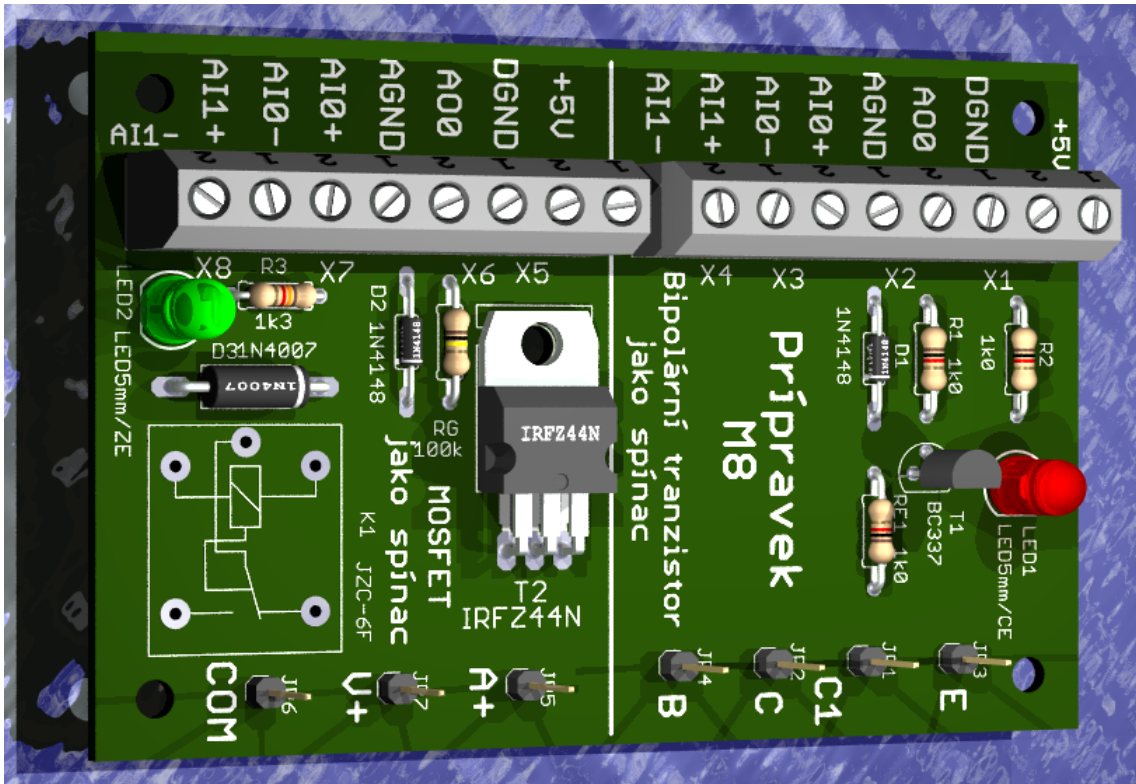
Obr. 77. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M8



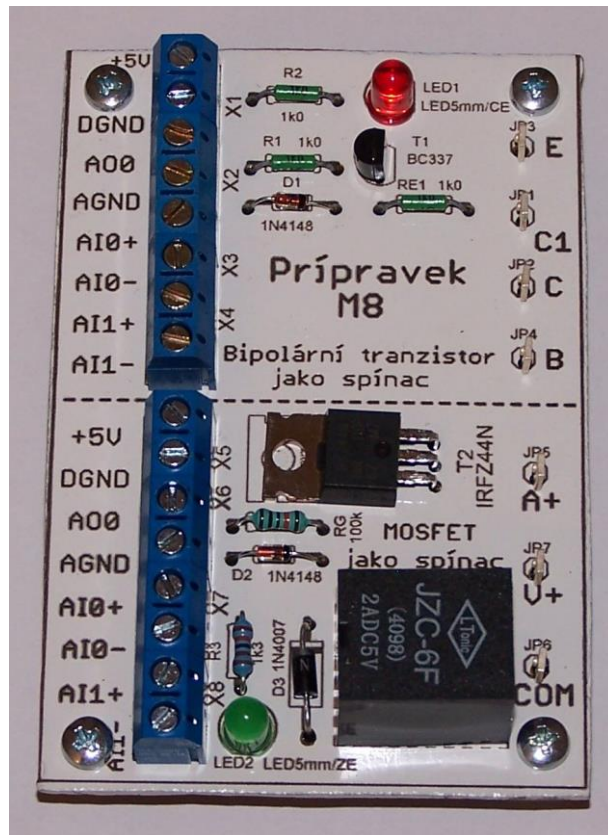
Obr. 78. Osazovací schéma přípravku M8



Obr. 79. Klišé plošných spojů přípravku M8

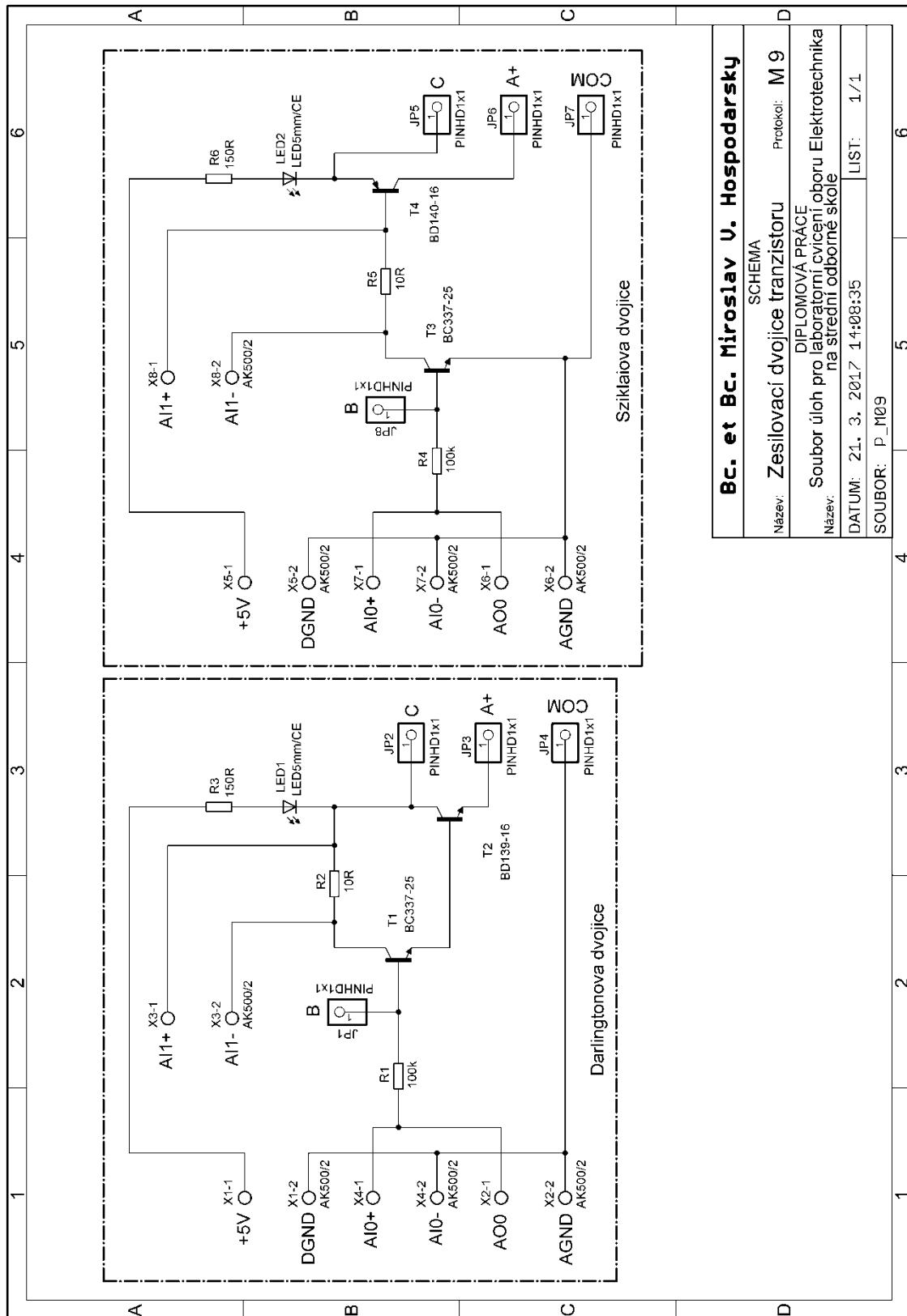


Obr. 80. 3D pohled na přípravek M8

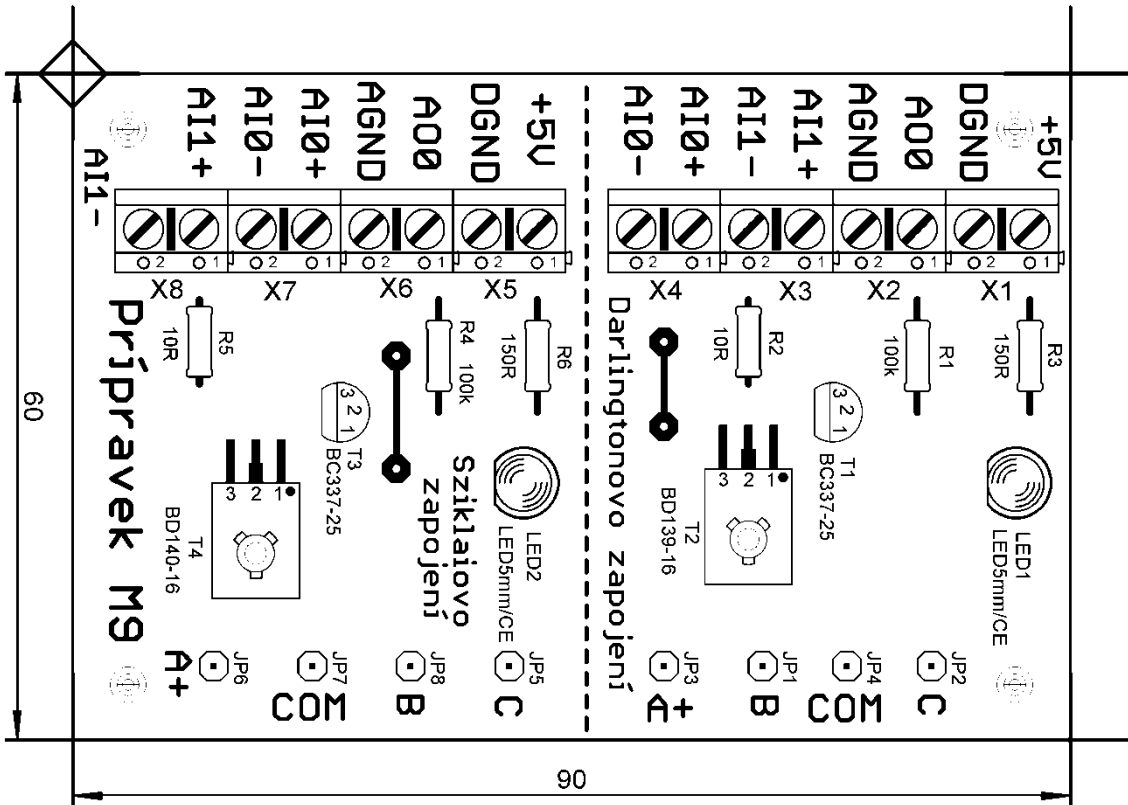


Obr. 81. Fotografie přípravku M8

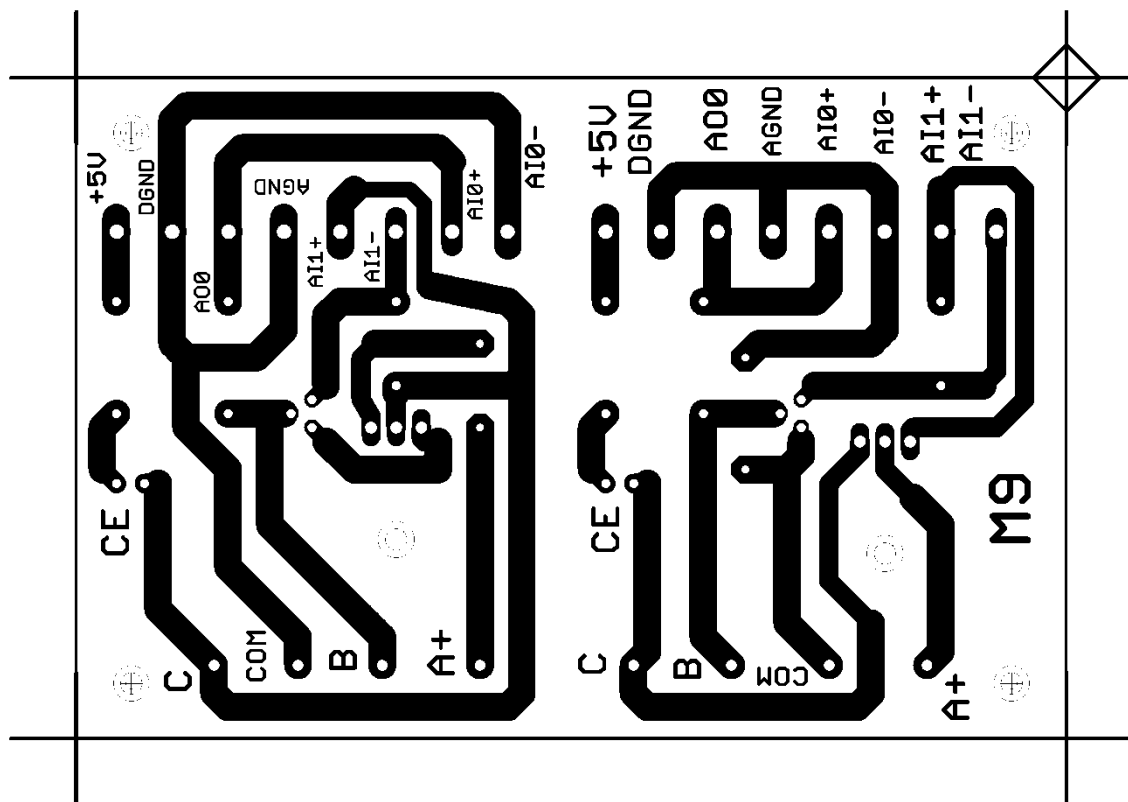
5.2.9 Měřicí přípravek M9: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů



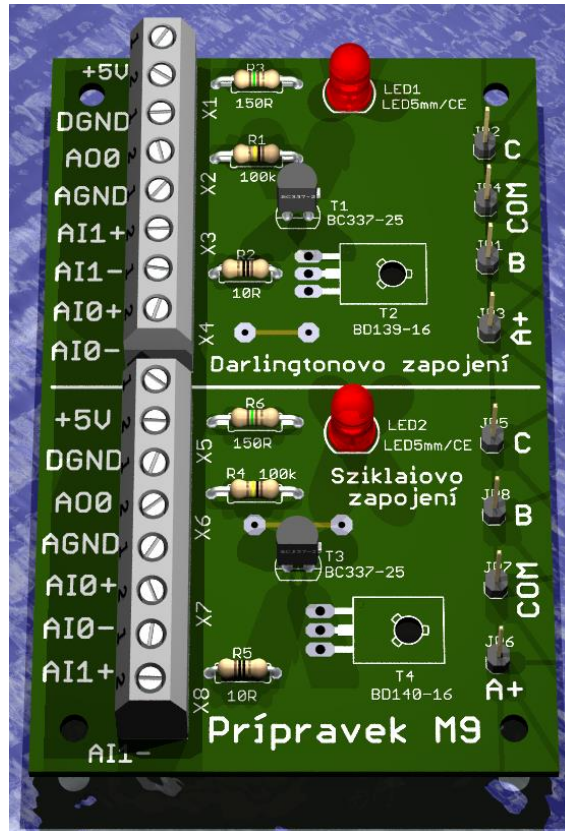
Obr. 82. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M9



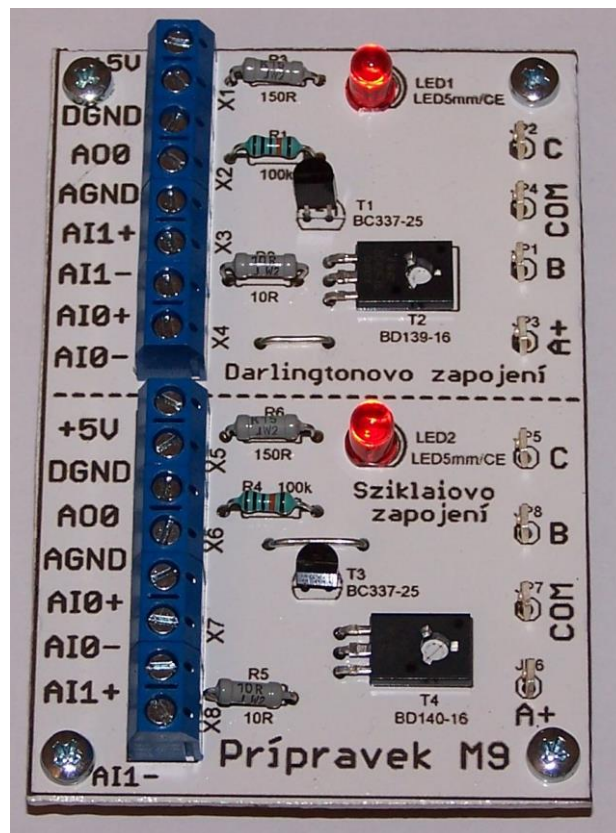
Obr. 83. Osazovací schéma přípravku M9



Obr. 84. Klišé plošných spojů přípravku M9

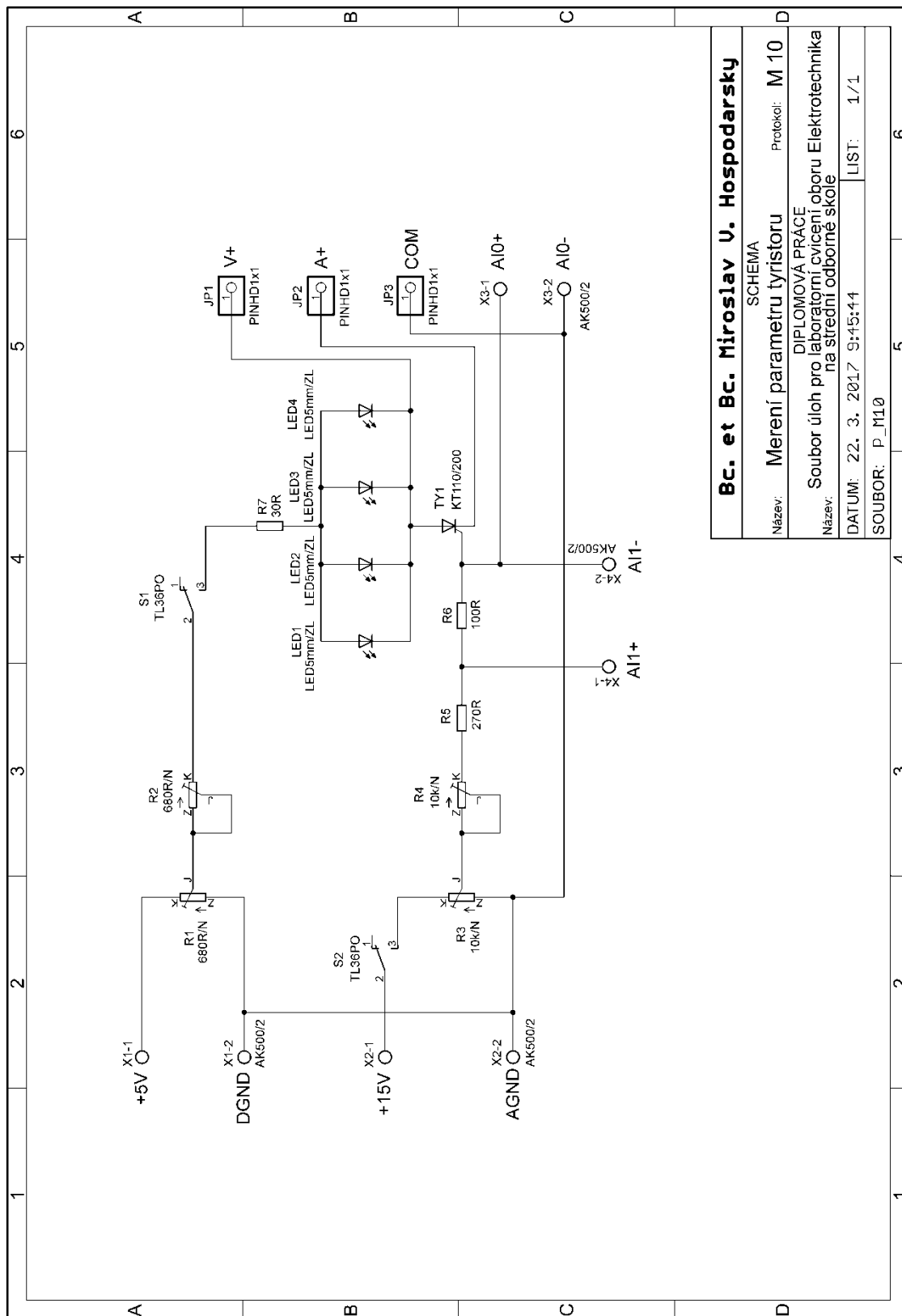


Obr. 85. 3D pohled na přípravek M9

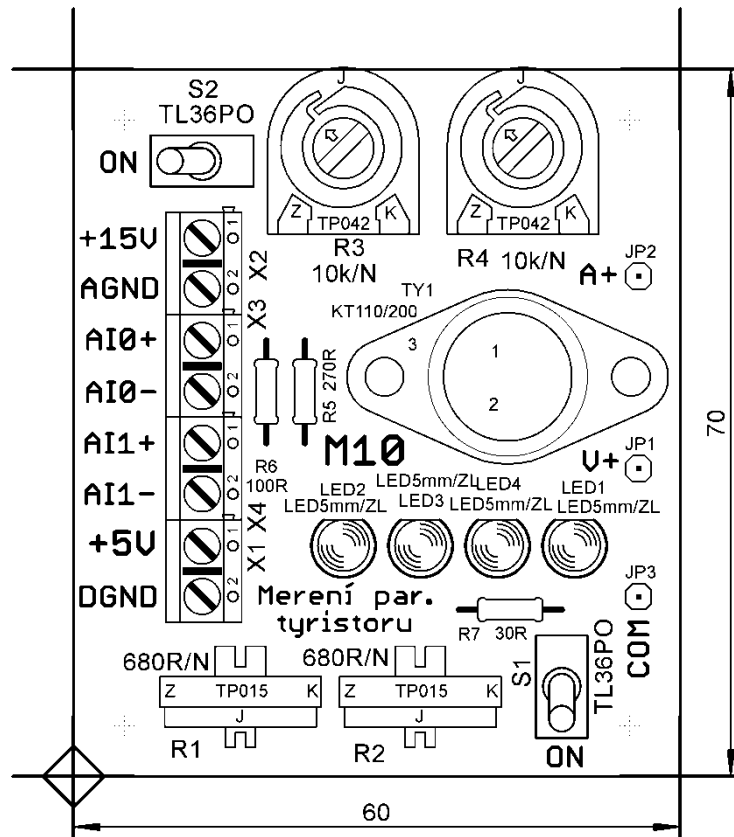


Obr. 86. Fotografie přípravku M9

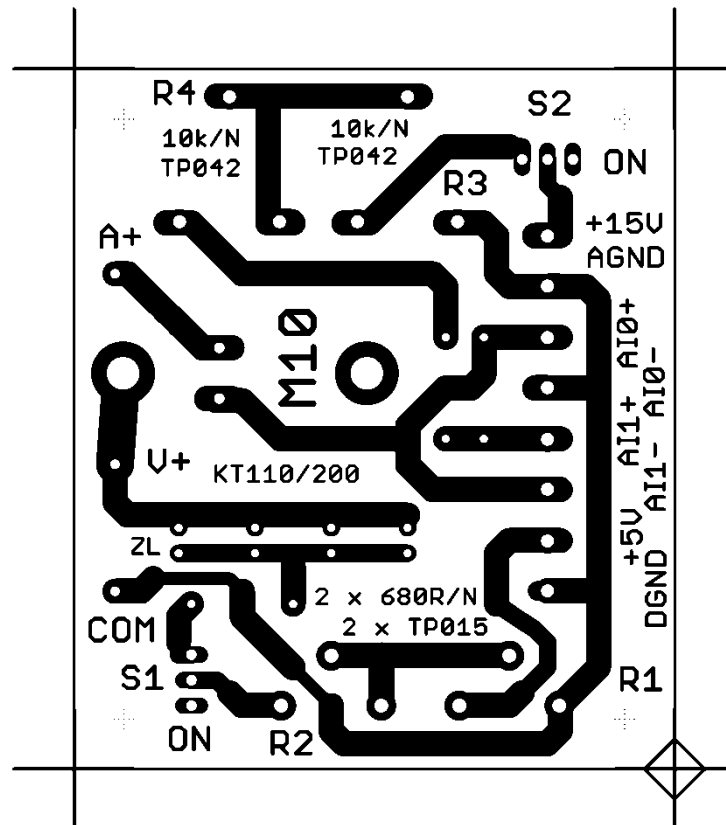
5.2.10 Měřicí přípravek M10: Měření základních parametrů tyristoru



Obr. 87. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M10



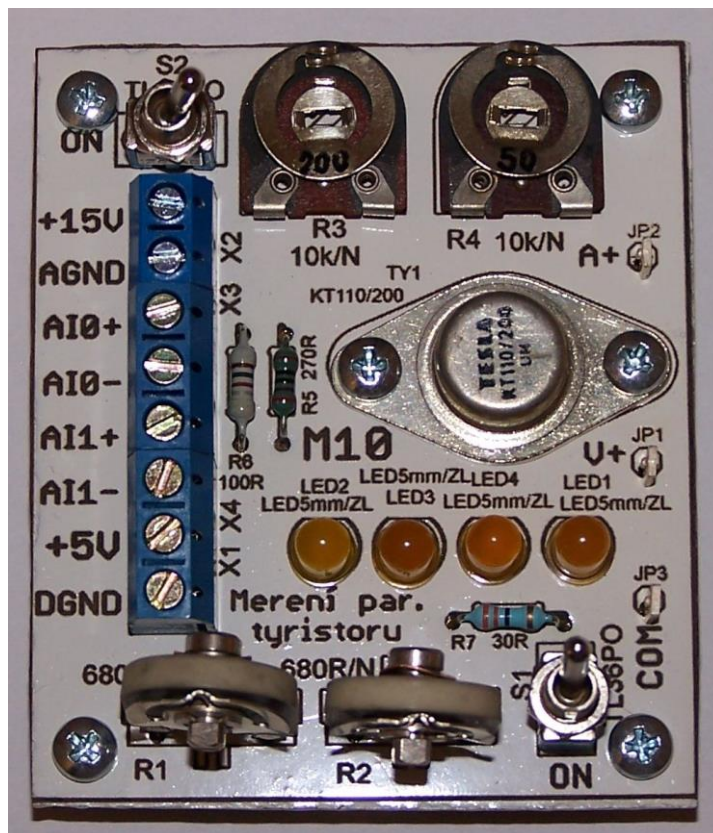
Obr. 88. Osazovací schéma přípravku M10



Obr. 89. Klišé plošných spojů přípravku M10

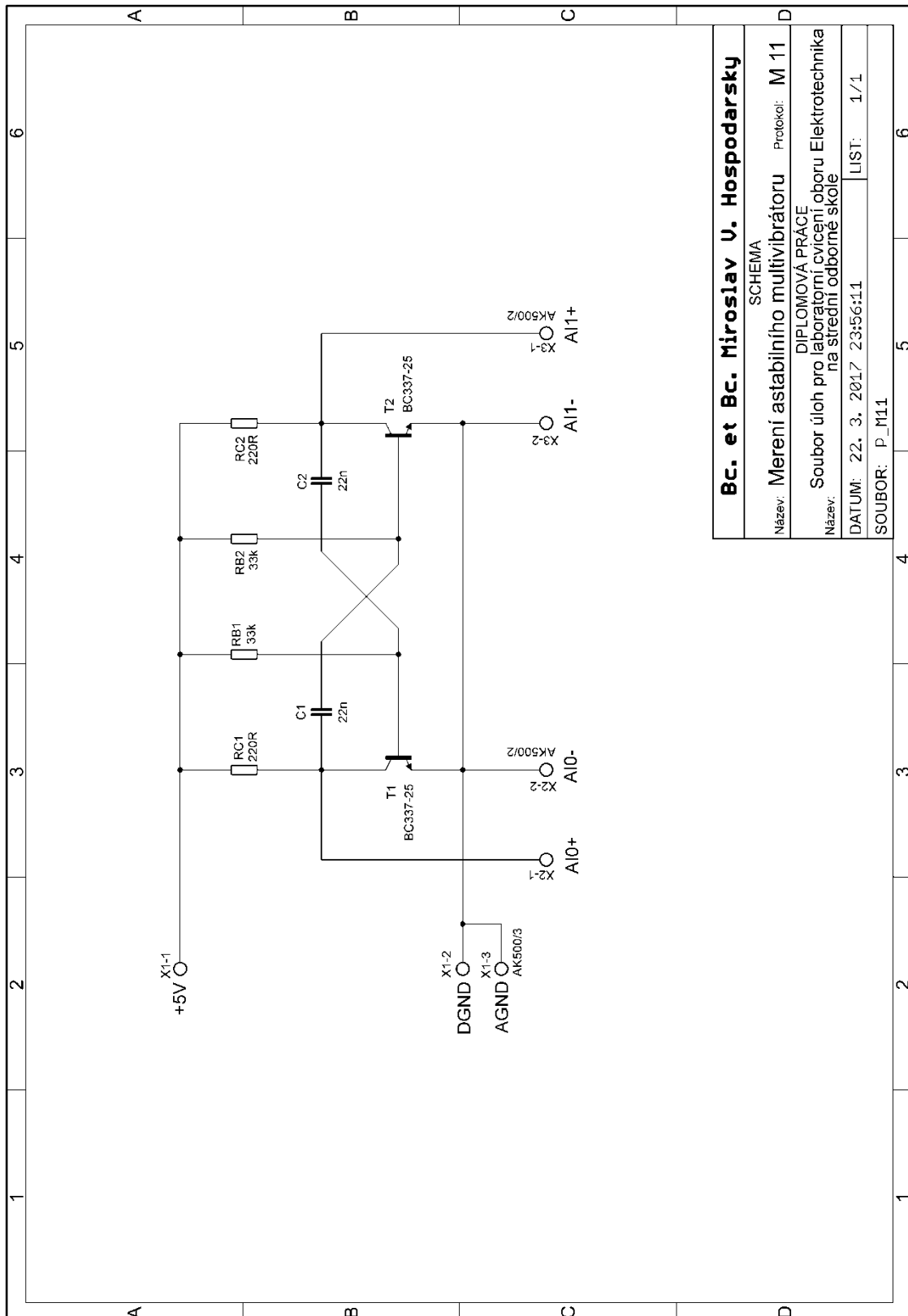


Obr. 90. 3D pohled na přípravek M10

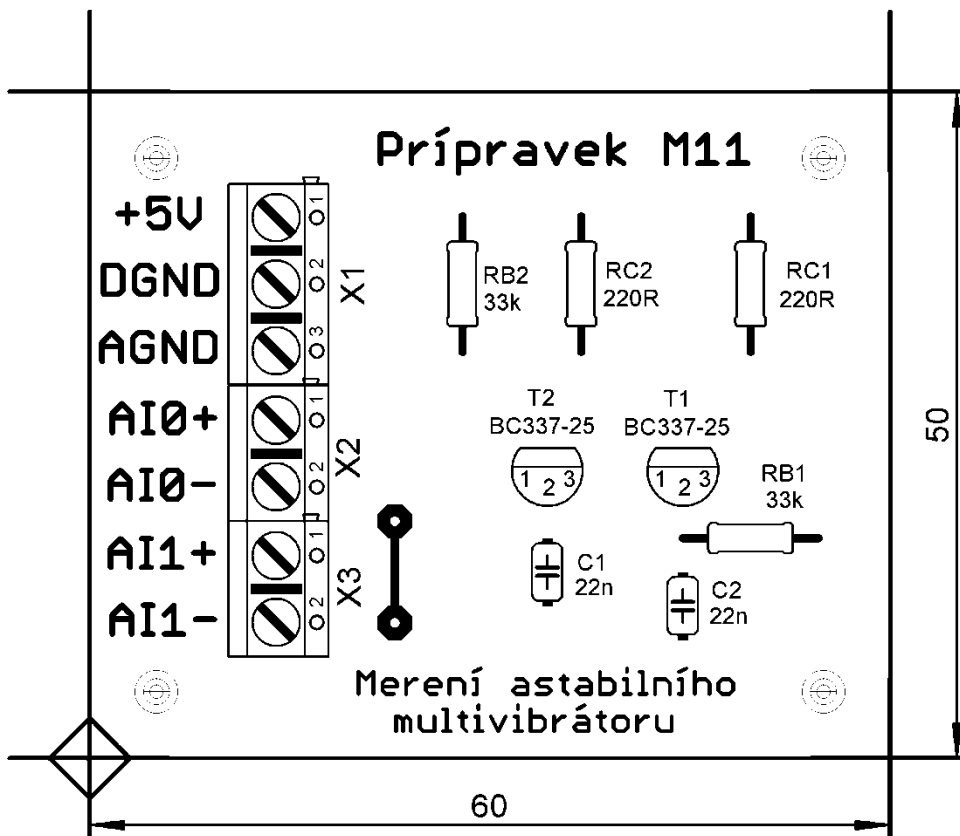


Obr. 91. Fotografie přípravku M10

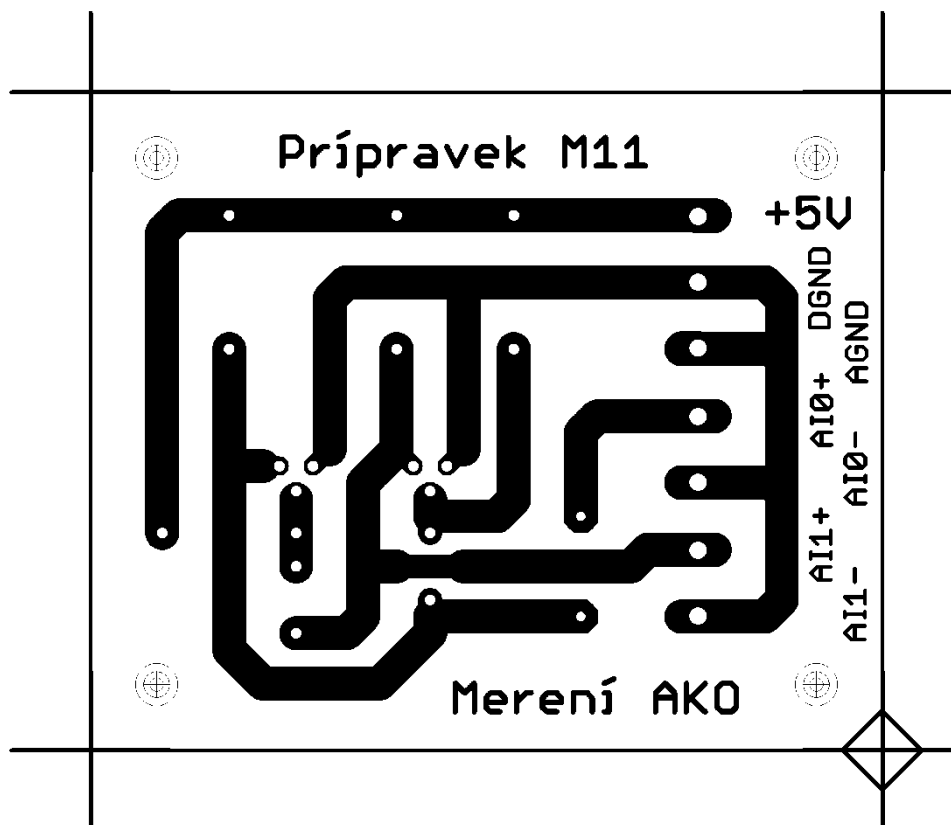
5.2.11 Měřicí přípravek M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory



Obr. 92. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M11



Obr. 93. Osazovací schéma přípravku M11



Obr. 94. Kliše plošných spojů přípravku M11

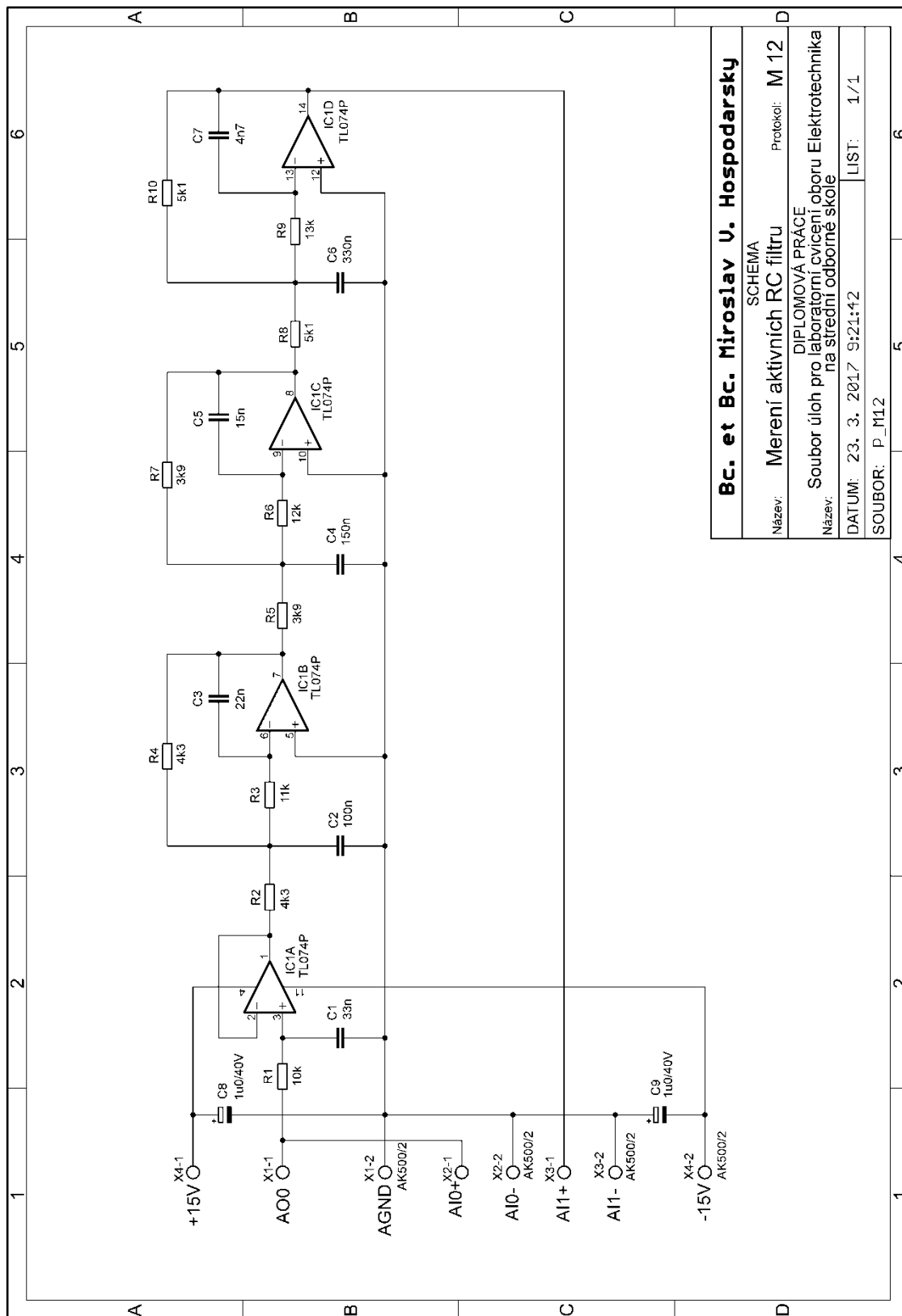


Obr. 95. 3D pohled na přípravek M11



Obr. 96. Fotografie přípravku M11

5.2.12 Měřicí přípravek M12: Aktivní RC kmitočtové filtry



Bc. et Bc. Miroslav V. Hospodarsky

SCHEMA

Název: **Měření aktivních RC filtrů**

Protokol: **M 12**

Název: **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

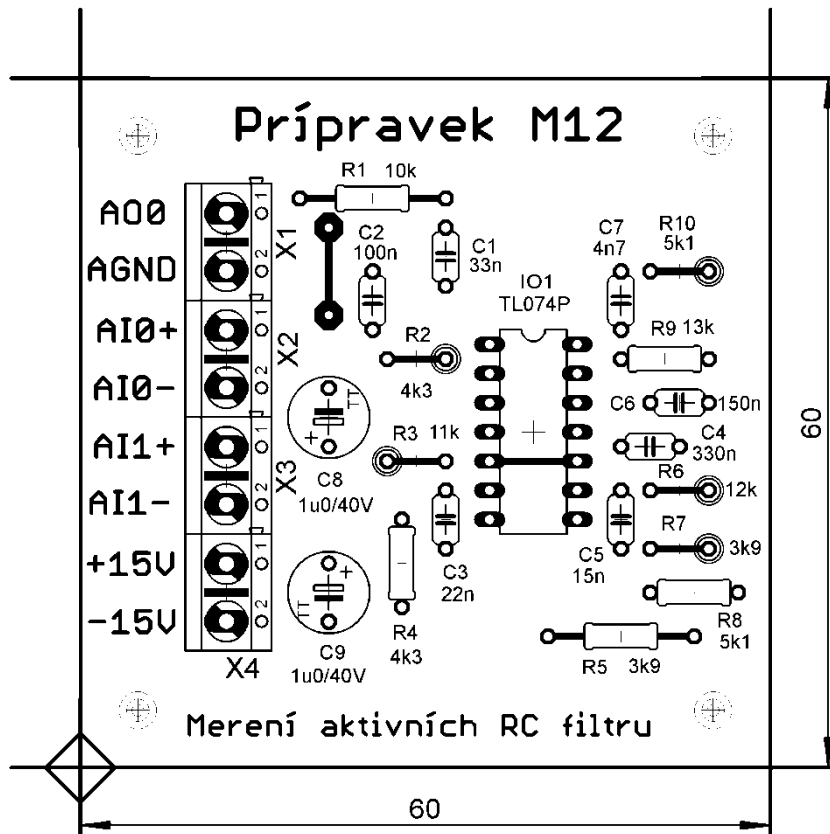
Soubor úloh pro laboratorní cvičení oboru Elektrotechnika na střední odborné škole

DATUM: 23. 3. 2017 9:24:42

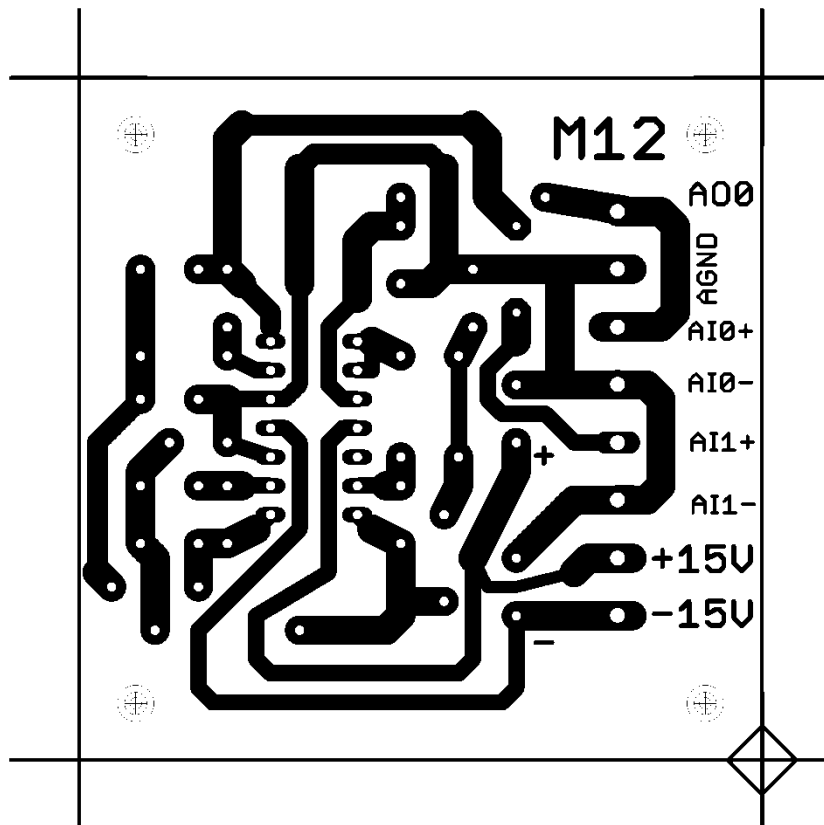
LIST: 1/1

SOUBOR: P_M12

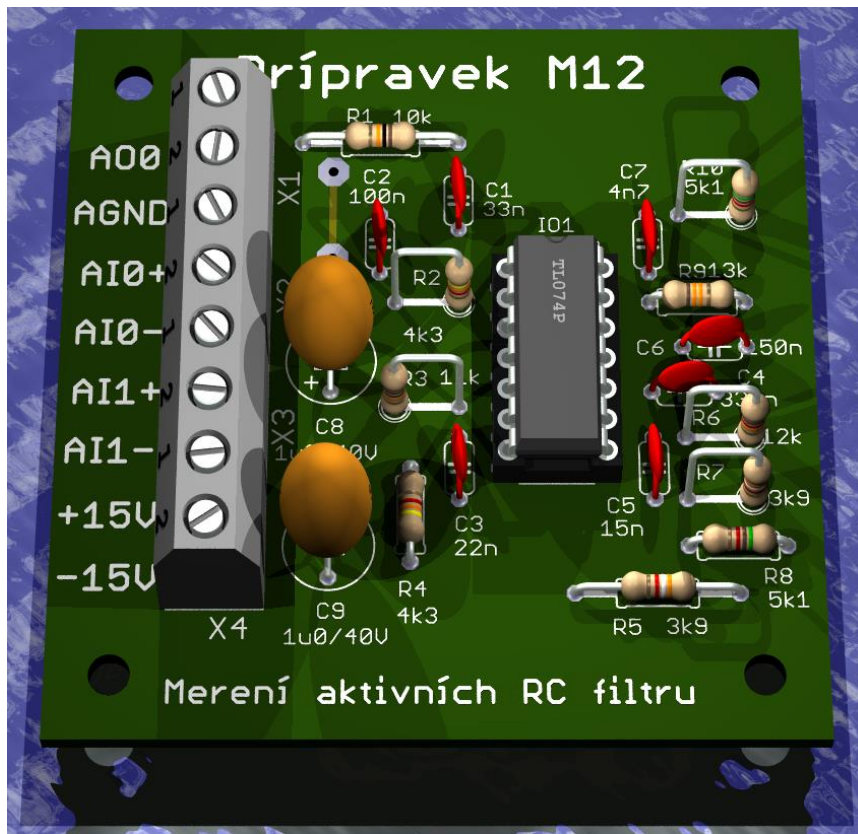
Obr. 97. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M12



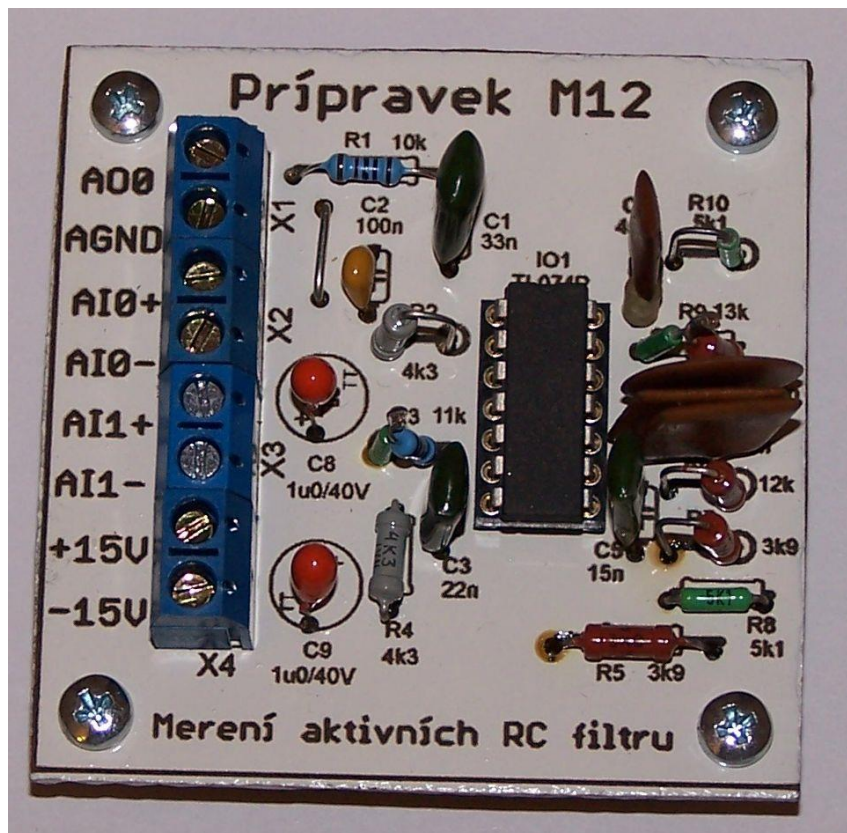
Obr. 98. Osazovací schéma přípravku M12



Obr. 99. Klišé plošných spojů přípravku M12

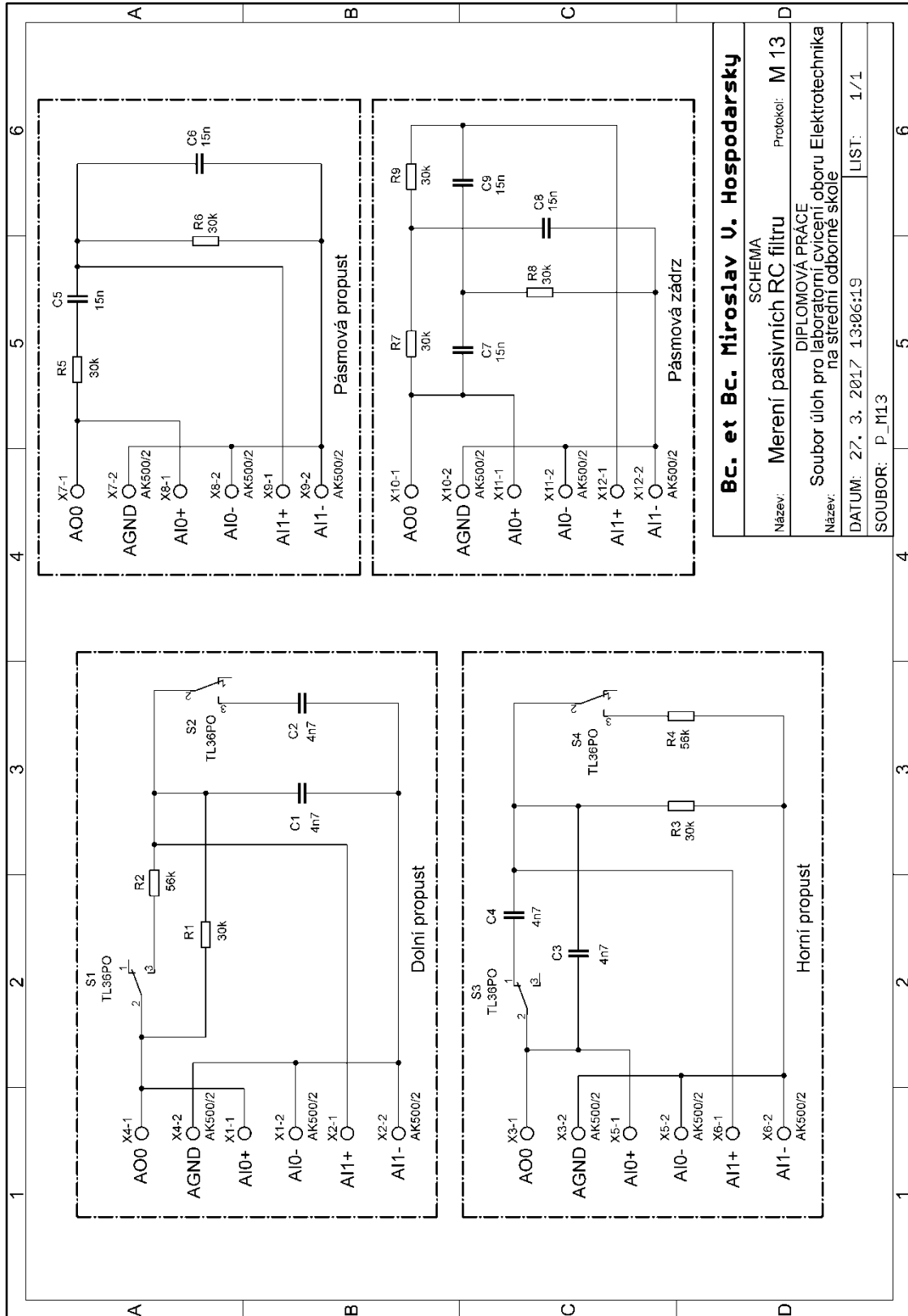


Obr. 100. 3D pohled na přípravek M12

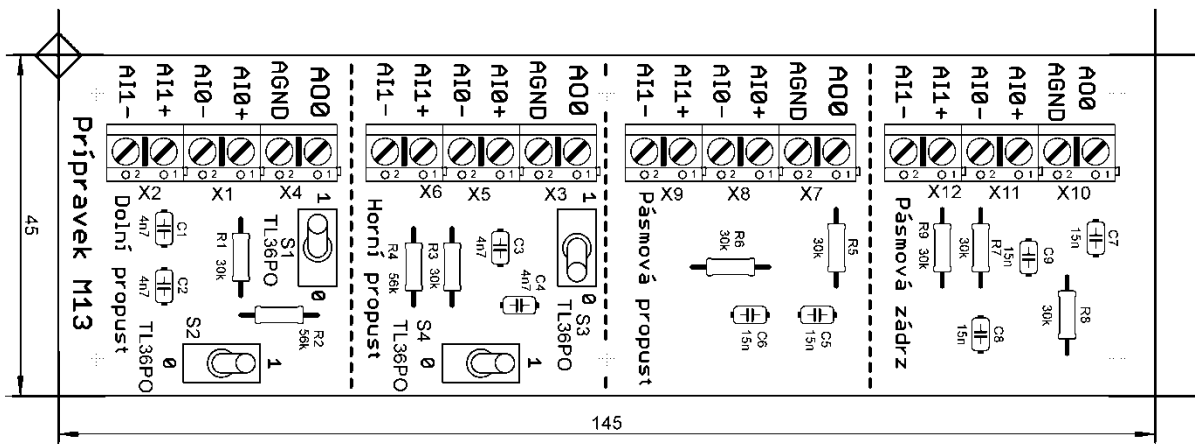


Obr. 101. Fotografie přípravku M12

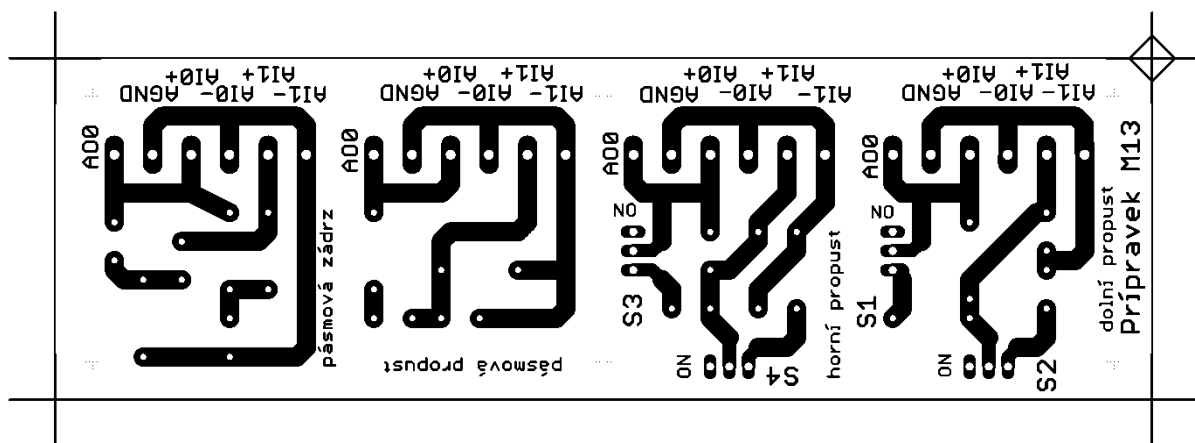
5.2.13 Měřicí přípravek M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů



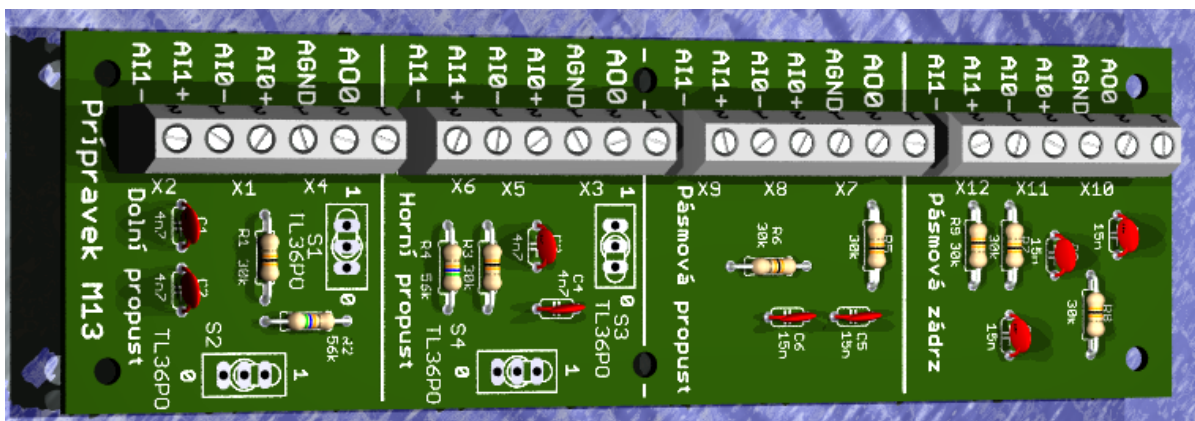
Obr. 102. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M13



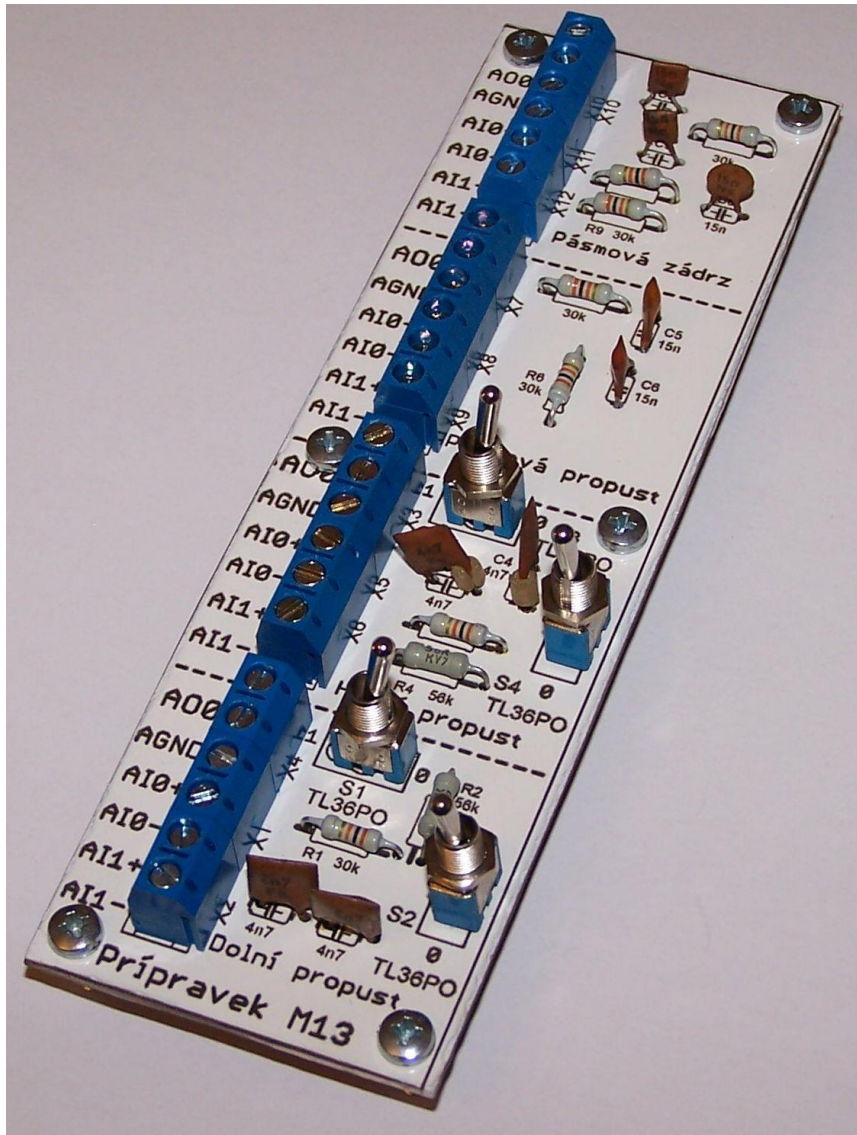
Obr. 103. Osazovací schéma přípravku M13



Obr. 104. Klišé plošných spojů přípravku M13

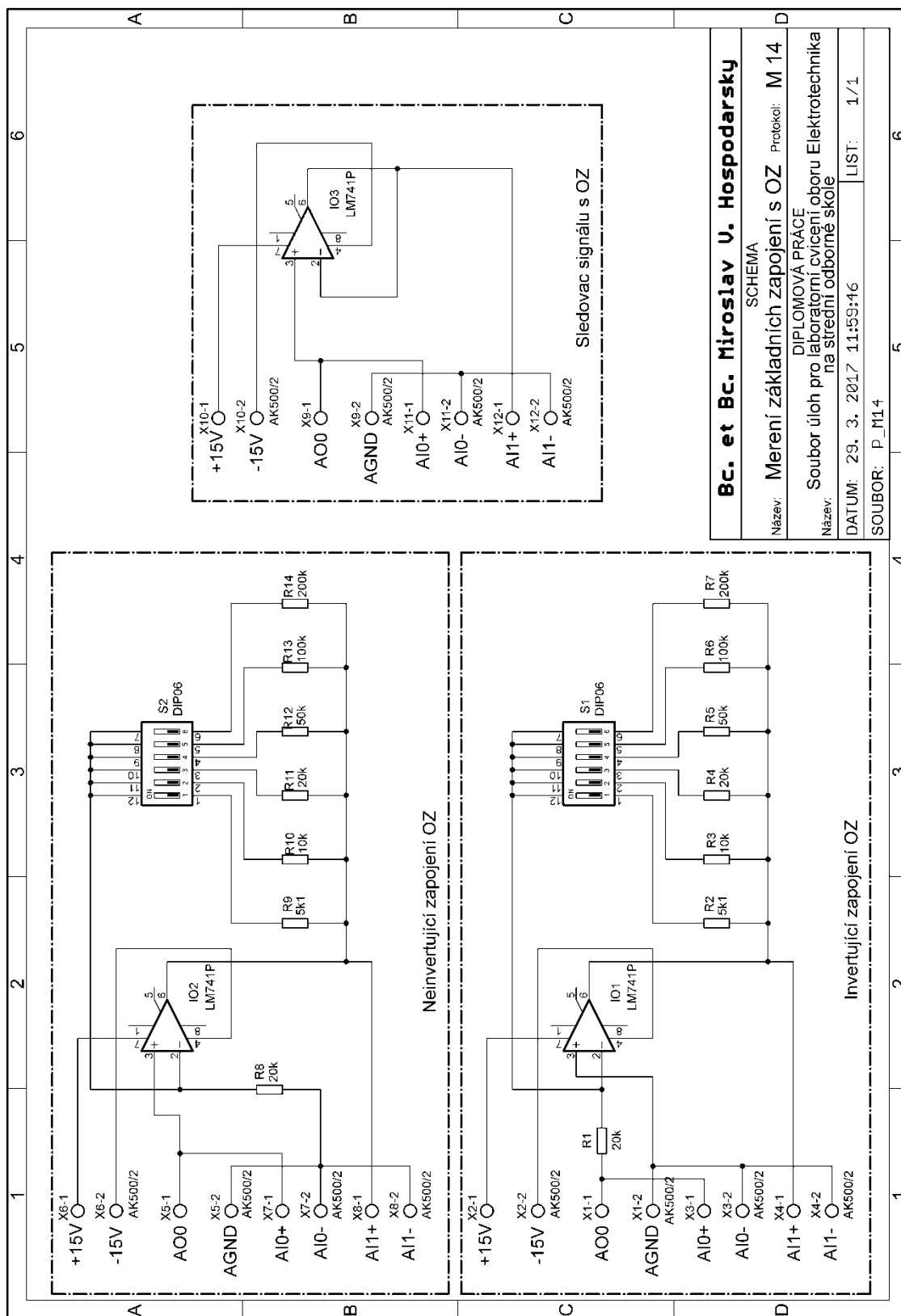


Obr. 105. 3D pohled na přípravek M13

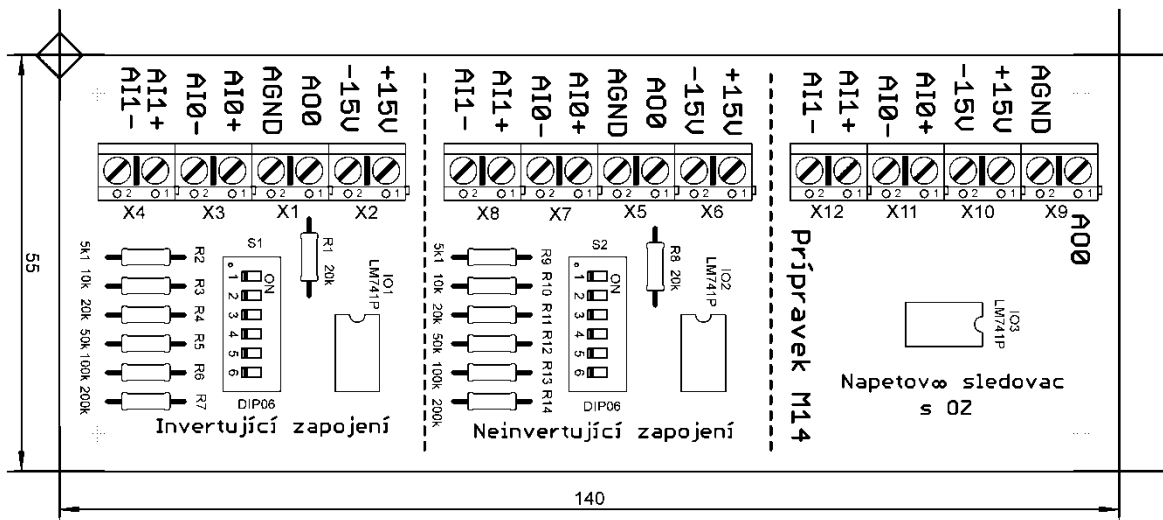


Obr. 106. Fotografie přípravku M13

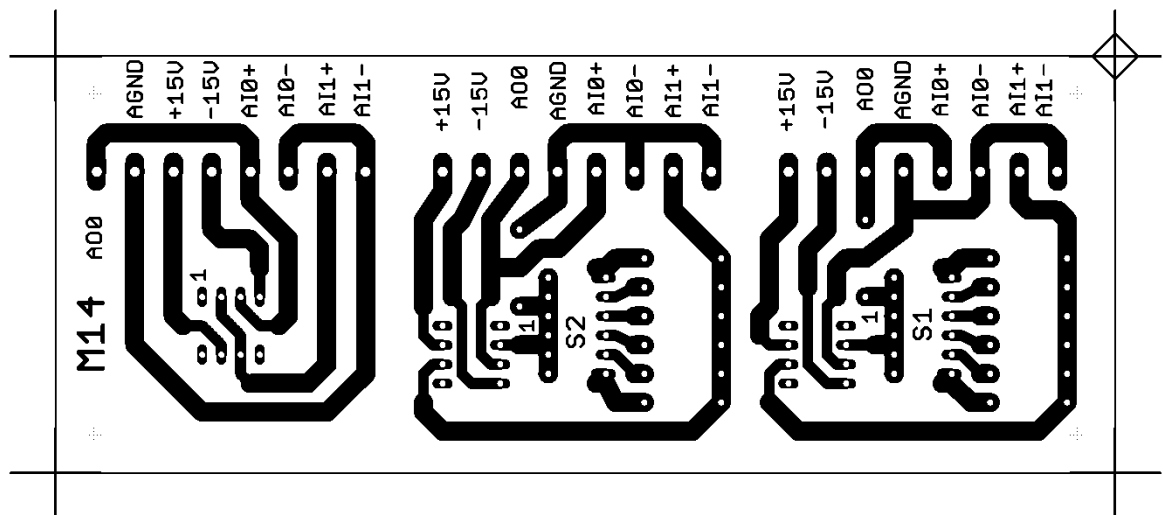
5.2.14 Měřicí přípravek M14: Měření základních zapojení s operačními zesilovači



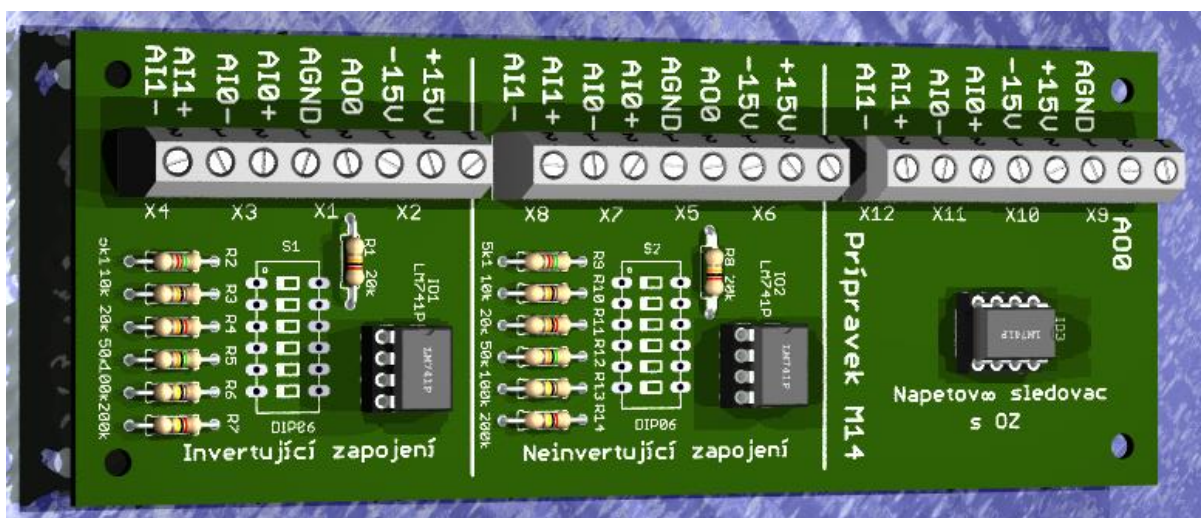
Obr. 107. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M14



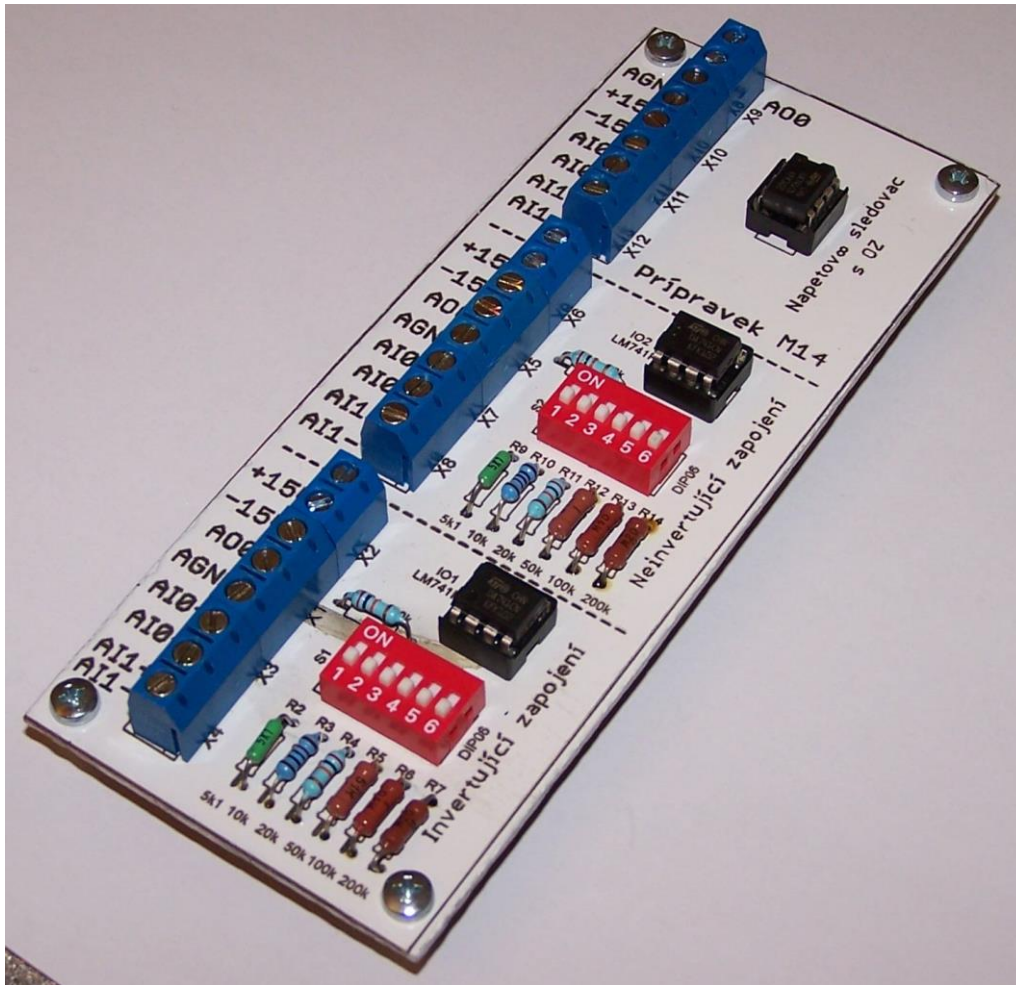
Obr. 108. Osazovací schéma přípravku M14



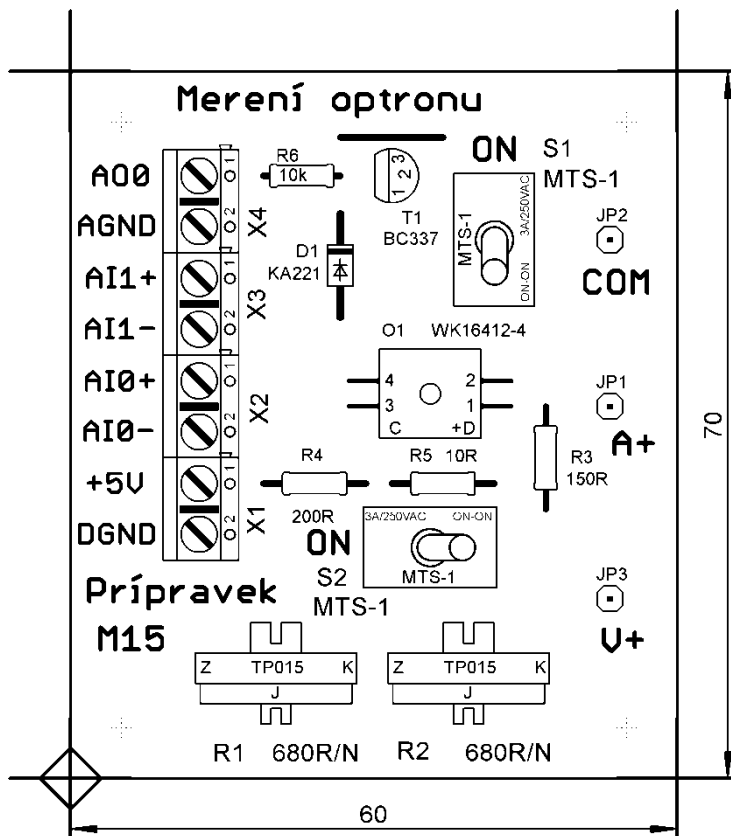
Obr. 109. Klišé plošných spojů přípravku M14



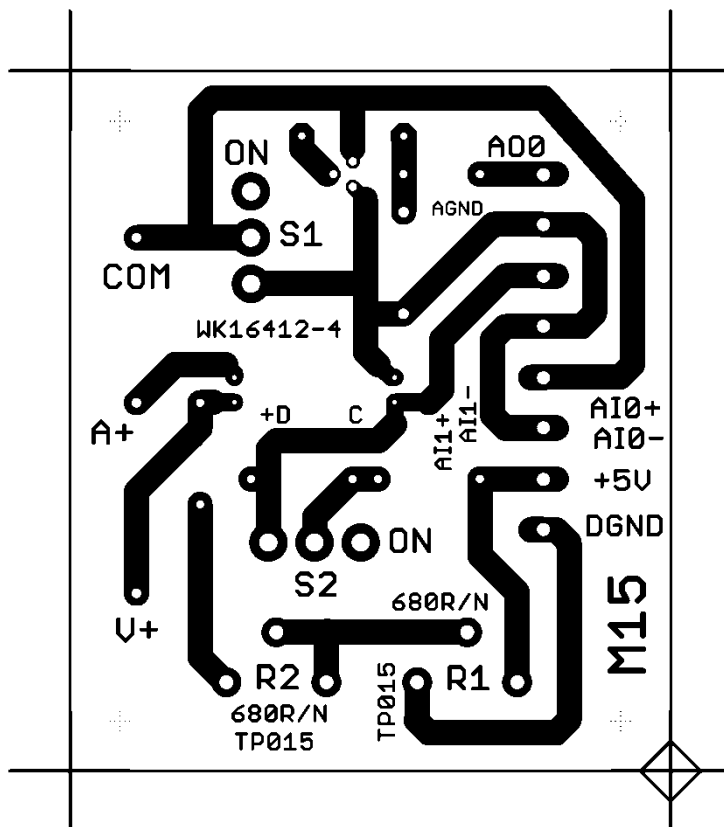
Obr. 110. 3D pohled na přípravek M14



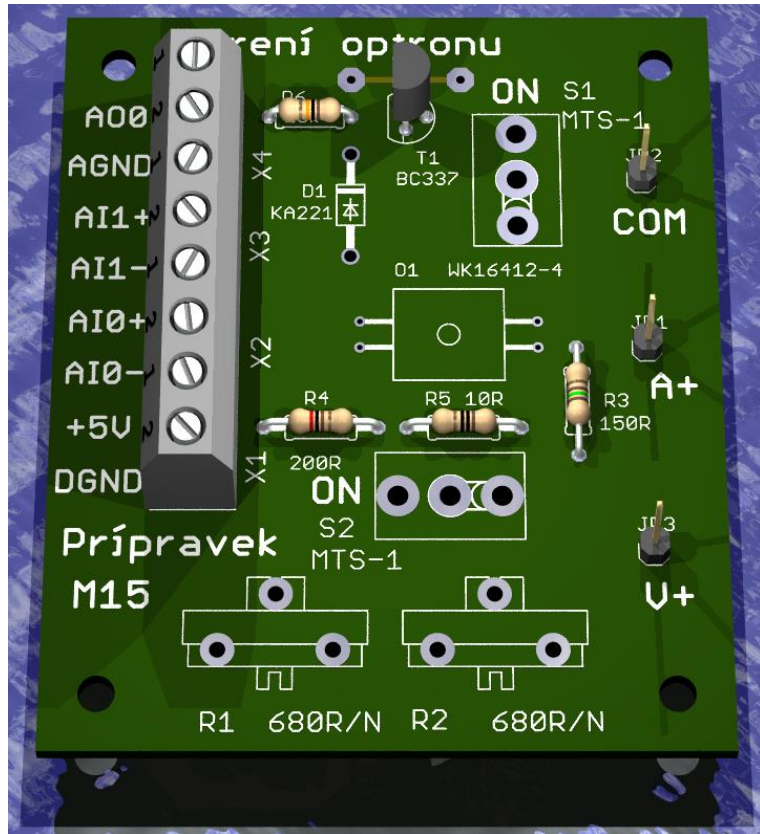
Obr. 111. Fotografie přípravku M14



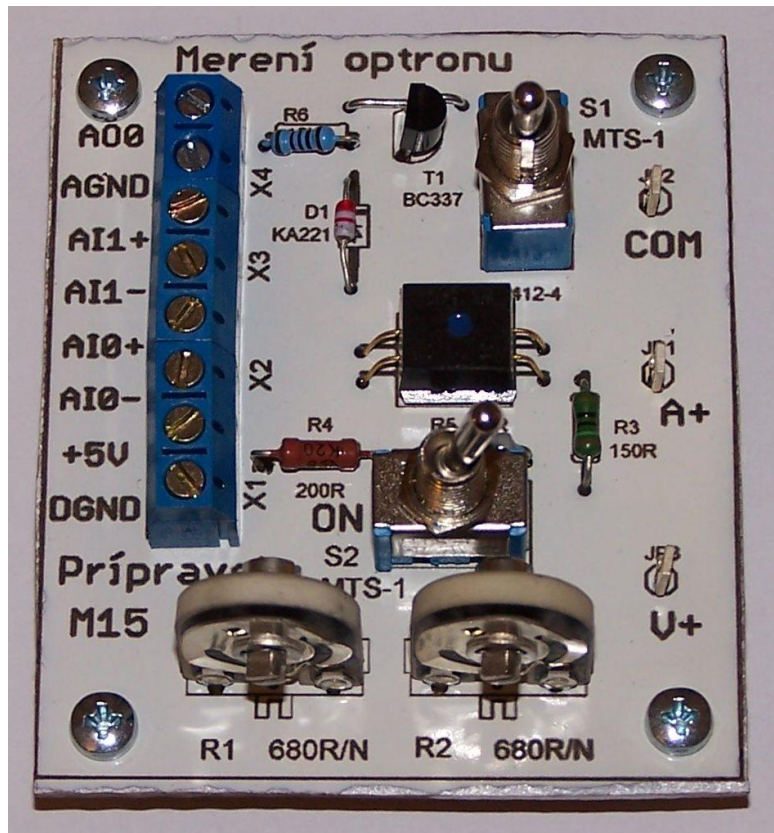
Obr. 113. Osazovací schéma přípravku M15



Obr. 114. Klišé plošných spojů přípravku M15



Obr. 115. 3D pohled na přípravek M15



Obr. 116. Fotografie přípravku M15

5.3 Využití měřicích přípravků a úloh ve výuce

Autor doporučuje následující zařazení měřicích přípravků a příslušných úloh do výuky elektrotechnických měření oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika:

Modul		Úloha	Hodinová dotace
Kód	Název		
263EMX01SO	Měřicí přístroje	P1: Ověřování měřicích přístrojů	2
		P2: Vliv tvaru signálu na údaj měřicího přístroje	2
		M1: Seznámení s rozhraním myDAQ	2
263EMX02SO	Měření RLC	M2: Ověřování Kirchhoffových zákonů	2
		P3: Metody měření neznámých odporů	4
		P4: Metody měření neznámých kapacit	4
		P5: Měření vlastní indukčnosti cívek	2
		P6: Měření kmitočtových vlastností prvků R, L, C	2
263EMX03SO	Měření obvodů ss a st proudu	M3: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu	2
		P8: Měření výkonu v obvodu jednofázového střídavého proudu	2
		P9: Měření vlastností střídavých signálů pomocí osciloskopu	2
263EMX04SO	Měření diod	P10: Měření V-A charakteristik základních druhů diod	2
		M4: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače	2
		M5: Měření V-A charakteristik svítivých diod	2
		P13: Měření zdvojovačů a násobičů napětí	2
263EMX05SO	Měření tranzistorů	P14: Měření V-A charakteristik bipolárního tranzistoru	2
		M6: Měření V-A charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET	2
		M7: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače	2
		M8: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače	2
		M9: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů	2
263EMX06SO	Měření tyristorů, diaků a triaků	P18: Měření základních parametrů diaku	1
		M10: Měření základních parametrů tyristoru	2
		P20: Měření triakového regulátoru výkonu	1

Tab. 12. Návrh rozvržení úloh pro moduly ve třetím ročníku oboru Elektrotechnika

Modul		Úloha	Hodinová dotace
Kód	Název		
263EMX07SO	Měření napájecích obvodů	P21: Měření vnitřního odporu a činitele zvlnění výstupního napětí	1
		P22: Měření zatěžovací charakteristiky základních napájecích zdrojů	2
		P23: Měření stabilizovaného napájecího zdroje	2
		P24: Měření základních parametrů snižujícího měniče napětí	2
		M11: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory	2
263EMX08SO	Měření zesilovačů	M12: Aktivní RC kmitočtové filtry	2
		M13: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů	2
		M14: Měření základních zapojení s operačními zesilovači	2
		P26: Měření kmitočtových charakteristik integrovaného nf zesilovače	2
		P27: Měření vstupní a výstupní impedance a mezního výkonu zesilovače	2
263EMX09SO	Měření na mikroprocesorových zařízeních	P29: Sledovač signálu s jednočipovým mikroprocesorem PIC16F88	2
		P30: Základní diagnostika jednočipového mikroprocesoru PIC16F88	2
		P31: Vstupní a výstupní vývody jednočipového mikroprocesoru PIC16F88	2
		P32: Jednočipový mikroprocesor PIC16F88 jako generátor	2
263EMX10SO	Měření neelektrických veličin	M15: Měření optoelektronického vazebního členu	2
		P33: Měření otáček pomocí stroboskopu	1
		P34: Měření zahřívání elektronických součástek	2
		P35: Měření posuvným měřidlem	1
263EMX11SO	Měření parametrů spotřební elektroniky	P37: Měření sériového rozhraní EIA RS-232C (CCITT V.24)	2
		P38: Měření činného a isolačního odporu vinutí	1
		P39: Měření momentové charakteristiky asynchr. motoru	2
		P40: Měření regulačních charakteristik ss cize buzeného motoru	2

Tab. 13. Návrh rozvržení úloh pro moduly ve čtvrtém ročníku oboru Elektrotechnika

6. Závěr

Autor v této diplomové práci provedl návrh zadání patnácti protokolů o měření a příslušných měřicích přípravků. Úlohy byly autorem voleny s ohledem na co nejrovnoměrnější pokrytí učební látky v jednotlivých modulech předmětu Elektrotechnická měření pro třetí a čtvrtý ročník maturitního oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika. Všechny měřicí přípravky byly autorem navrženy v CAD systému Eagle, následně vyrobeny a prakticky ověřeny. Vzhledem k velkému rozsahu práce nebyla do písemné podoby diplomové práce zařazena fotografická dokumentace z vyučovacích hodin. Všechny přípravky jsou však prakticky přezkoušeny a jsou didakticky uzpůsobeny.

Soubor patnácti navržených a vyrobených měřicích přípravků a příslušných protokolů samozřejmě nepokrývá veškerou oblast učební látky z elektrotechnických předmětů vyučovaných na střední odborné škole. Jedná se o základní měřicí obvody, které seznamují s nejpodstatnějšími součástkami a obvody z elektroniky. Všechny úlohy jsou voleny tak, aby jejich odměření bylo reálné do dvou vyučovacích hodin (do tohoto času autor samozřejmě nezapočítává nutnou domácí přípravu žáků). Veškerá technická dokumentace potřebná k výrobě přípravků je uvedena na kompaktním disku, tvořícím součást tištěné diplomové práce, případně je k dostání u autora této práce (autora můžete kontaktovat skrze zaměstnavatele). Čtenáři z řad pedagogů a odborné veřejnosti si jistě najdou množství jiných úloh, kterými budou moci navázat na presentované měřicí přípravky a úlohy. Pokud budou ochotni podělit se s následnými zkušenostmi a poznatky, autor bude mile potěšen.

7. Použitá literatura

- [1] *NI Multisim – SPICE-based electronic circuit design and analysis environment Hands-On: Customer Manual*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2013.
- [2] *Texas Instruments Circuit Experiments for NI myDAQ*. Texas Instruments, Dallas (Texas, USA) 2011.
- [3] *NI myDAQ User Guide*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014.
- [4] *Digilent myProto Reference Manual*. Digilent, Pullman (Washington, USA) 2014.
- [5] *NI myDAQ specifications*. National Instruments, Austin (Texas, USA) 2014.
- [6] Čermák, D.: *Využití rozhraní NI myDAQ ve výuce elektrotechnických měření*. Sezimovo Ústí 2016. Maturitní práce, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí. Vedoucí práce Bc. et Bc. Miroslav V. Hospodářský.
- [7] Hospodářský, M. V.: *Vyučovací metody a jejich aplikace v podmínkách středního odborného školství*. České Budějovice 2013. Bakalářská práce, Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Stach, CSc.
- [8] Juránek, A.: *MultiSIM: Elektronická laboratoř na PC*. BEN – technická literatura, Praha 2008. ISBN 978-80-7300-194-0.
- [9] Vavrek, L.: Prototypové laboratorium NI ELVIS. *DPS Plošné spoje od A do Z*, 2012, č. 3, str. 56 – 59. ISSN 1804-4891.
- [10] Vlach, J.: „Studentská“ karta NI myDAQ a její využití v LabVIEW. *AUTOMA*, 2012, č. 3, str. 73 – 75.
- [11] Vlach, J.: Multifunkční karta a její aplikace. *Automatizace*, r. 51, č. 12, str. 784 - 786. ISSN 0005-125X.

8. Seznam použitých programů

- [1] *Microsoft Office 2010* (<http://www.microsoft.com>).
- [2] *Eagle 5.1.0* (<http://www.autodesk.com/products/eagle/overview>).
- [3] *NI Multisim 13.0 myDAQ* (<http://www.ni.com>).
- [4] *NI ELVISmx Digital Multimeter* (<http://www.ni.com>).

Licence na tento software vlastní toho času zaměstnavatel autora této práce, to jest Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421.

9. Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

Obr. 1. Vzhled měřicího rozhraní National Instruments myDAQ.....	3
Obr. 2. Zjednodušené blokové schéma měřicího rozhraní NI myDAQ	4
Obr. 3. Podrobné blokové schéma měřicího rozhraní National Instruments myDAQ včetně výpisu použitých integrovaných obvodů	5
Obr. 4. Měřicí rozhraní NI myDAQ ve funkci číslicového multimetru	6
Obr. 5. Rozmístění signálů na řadovém konektoru zařízení NI myDAQ.....	6
Obr. 6. Příslušenství k rozhraní NI myDAQ.....	7
Obr. 7. Způsoby fyzického připojení periférií k měřicímu rozhraní NI myDAQ.....	8
Obr. 8. Vzhled rozšiřující desky Digilent myProto	9
Obr. 9. Zapojení svítivých diod, potenciometrického trimru a audiokonektoru rozšiřující desky Digilent myProto	9
Obr. 10. Propojení rozšiřující karty Digilent myProto s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ	11
Obr. 11. Měřicí rozhraní NI myDAQ zapojené ve funkci číslicového multimetru	16
Obr. 12. Zdíčky pro připojení měřicích sond číslicového multimetru	16
Obr. 13. Postup vytvoření nového projektu se zařízením NI myDAQ – krok č. 1.....	20
Obr. 14. Postup vytvoření nového projektu se zařízením NI myDAQ – krok č. 2.....	20
Obr. 15. Nově založená pracovní plocha pro práci s rozhraním NI myDAQ.....	20
Obr. 16. Panel zpodobňující postranní řadový konektor a audiokonektory měřicího rozhraní NI myDAQ	21
Obr. 17. Panel zpodobňující zdíčky číslicového multimetru měřicího rozhraní myDAQ.	21
Obr. 18. Úvodní obrazovka programu NI ELVISmx Instrument Launcher	23
Obr. 19. Číslicový multimetr (NI ELVISmx Digital Multimeter).....	24
Obr. 20. Dvoukanálový osciloskop (NI ELVISmx Oscilloscope).....	25
Obr. 21. Funkční generátor (NI ELVISmx Function Generator).....	26
Obr. 22. Bodeho analyzátor (NI ELVISmx Bode Analyzer).....	27
Obr. 23. Spektrální analyzátor (NI ELVISmx Dynamic Signal Analyzer).....	28
Obr. 24. Generátor programovatelných průběhů (NI ELVISmx Arbitrary Waveform Generator)	29
Obr. 25. Osmikanálová logická sonda (NI ELVISmx Digital Reader)	30
Obr. 26. Datový generátor (NI ELVISmx Digital Writer).....	31
Obr. 27. Elektrické zapojení přípravku M1	80
Obr. 28. Elektrické zapojení přípravku M2	81

Obr. 29. Elektrické zapojení přípravku M3	81
Obr. 30. Elektrické zapojení přípravku M4	82
Obr. 31. Elektrické zapojení přípravku M5	83
Obr. 32. Elektrické zapojení přípravku M6	83
Obr. 33. Elektrické zapojení přípravku M7	84
Obr. 34. Elektrické zapojení přípravku M8	85
Obr. 35. Elektrické zapojení přípravku M9	85
Obr. 36. Elektrické zapojení přípravku M10	86
Obr. 37. Elektrické zapojení přípravku M11	87
Obr. 38. Elektrické zapojení přípravku M12	87
Obr. 39. Elektrické zapojení přípravku M13	88
Obr. 40. Elektrické zapojení přípravku M14	89
Obr. 41. Elektrické zapojení přípravku M15	90
Obr. 42. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M1	91
Obr. 43. Osazovací schéma přípravku M1	92
Obr. 44. Kliše plošných spojů přípravku M1	92
Obr. 45. 3D pohled na přípravek M1	93
Obr. 46. Fotografie přípravku M1	93
Obr. 47. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M2	94
Obr. 48. Osazovací schéma přípravku M2	95
Obr. 49. Kliše plošných spojů přípravku M2	95
Obr. 50. 3D pohled na přípravek M2	96
Obr. 51. Fotografie přípravku M2	96
Obr. 52. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M3	97
Obr. 53. Osazovací schéma přípravku M3	98
Obr. 54. Kliše plošných spojů přípravku M3	98
Obr. 55. 3D pohled na přípravek M3	99
Obr. 56. Fotografie přípravku M3	99
Obr. 57. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M4	100
Obr. 58. Osazovací schéma přípravku M4	101
Obr. 59. Kliše plošných spojů přípravku M4	101
Obr. 60. 3D pohled na přípravek M4	102
Obr. 61. Fotografie přípravku M4	102
Obr. 62. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M5	103
Obr. 63. Osazovací schéma přípravku M5	104
Obr. 64. Kliše plošných spojů přípravku M5	104
Obr. 65. 3D pohled na přípravek M5	105
Obr. 66. Fotografie přípravku M5	105
Obr. 67. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M6	106
Obr. 68. Osazovací schéma přípravku M6	107
Obr. 69. Kliše plošných spojů přípravku M6	107
Obr. 70. 3D pohled na přípravek M6	108
Obr. 71. Fotografie přípravku M6	108
Obr. 72. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M7	109

Obr. 73. Osazovací schéma přípravku M7.....	110
Obr. 74. Kliše plošných spojů přípravku M7.....	110
Obr. 75. 3D pohled na přípravek M7.....	111
Obr. 76. Fotografie přípravku M7.....	111
Obr. 77. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M8.....	112
Obr. 78. Osazovací schéma přípravku M8.....	113
Obr. 79. Kliše plošných spojů přípravku M8.....	113
Obr. 80. 3D pohled na přípravek M8.....	114
Obr. 81. Fotografie přípravku M8.....	114
Obr. 82. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M9.....	115
Obr. 83. Osazovací schéma přípravku M9.....	116
Obr. 84. Kliše plošných spojů přípravku M9.....	116
Obr. 85. 3D pohled na přípravek M9.....	117
Obr. 86. Fotografie přípravku M9.....	117
Obr. 87. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M10.....	118
Obr. 88. Osazovací schéma přípravku M10.....	119
Obr. 89. Kliše plošných spojů přípravku M10.....	119
Obr. 90. 3D pohled na přípravek M10.....	120
Obr. 91. Fotografie přípravku M10.....	120
Obr. 92. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M11.....	121
Obr. 93. Osazovací schéma přípravku M11.....	122
Obr. 94. Kliše plošných spojů přípravku M11.....	122
Obr. 95. 3D pohled na přípravek M11.....	123
Obr. 96. Fotografie přípravku M11.....	123
Obr. 97. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M12.....	124
Obr. 98. Osazovací schéma přípravku M12.....	125
Obr. 99. Kliše plošných spojů přípravku M12.....	125
Obr. 100. 3D pohled na přípravek M12.....	126
Obr. 101. Fotografie přípravku M12.....	126
Obr. 102. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M13.....	127
Obr. 103. Osazovací schéma přípravku M13.....	128
Obr. 104. Kliše plošných spojů přípravku M13.....	128
Obr. 105. 3D pohled na přípravek M13.....	128
Obr. 106. Fotografie přípravku M13.....	129
Obr. 107. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M14.....	130
Obr. 108. Osazovací schéma přípravku M14.....	131
Obr. 109. Kliše plošných spojů přípravku M14.....	131
Obr. 110. 3D pohled na přípravek M14.....	131
Obr. 111. Fotografie přípravku M14.....	132
Obr. 112. Schéma elektrického zapojení měřicího přípravku M15.....	133
Obr. 113. Osazovací schéma přípravku M15.....	134
Obr. 114. Kliše plošných spojů přípravku M15.....	134
Obr. 115. 3D pohled na přípravek M15.....	135
Obr. 116. Fotografie přípravku M15.....	135

Tabulky

Tab. 1. Označení a význam signálů na rozšiřující desce Digilent myProto	10
Tab. 2. Technické údaje analogových vstupů měřicího rozhraní National Instruments myDAQ.....	12
Tab. 3. Technické údaje analogových výstupů měřicího rozhraní National Instruments myDAQ.....	13
Tab. 4. Technické údaje digitálních linek DIO 0 až DIO 7 ve funkci digitálních vstupů/výstupů	14
Tab. 5. Technické údaje digitálních linek DIO 0 až DIO 7 ve funkci čítače/časovače pro všeobecné použití.....	14
Tab. 6. Technické parametry napájecího zdroje +15 V zařízení NI myDAQ	15
Tab. 7. Technické parametry napájecího zdroje -15 V zařízení NI myDAQ	15
Tab. 8. Technické parametry napájecího zdroje +5 V zařízení NI myDAQ	15
Tab. 9. Všeobecné technické parametry číslicového multimetru měřicího rozhraní NI myDAQ.....	17
Tab. 10. Podrobné technické parametry číslicového multimetru zařízení NI myDAQ.....	17
Tab. 11. Skladba obsahového okruhu předmětu Elektrotechnická měření.....	36
Tab. 12. Návrh rozvržení úloh pro moduly ve třetím ročníku oboru Elektrotechnika	136
Tab. 13. Návrh rozvržení úloh pro moduly ve čtvrtém ročníku oboru Elektrotechnika..	137

10. Obsah přiloženého disku CD-ROM

K této práci je přiložen kompaktní disk CD-ROM s následující adresářovou strukturou:

- **Přípravky** ... adresář s technickou a výrobní dokumentací pro všech 15 měřicích přípravků. Adresář je dělen do podadresářů M01 až M15. Každý z podadresářů obsahuje tyto soubory:
 - ***.sch** ... soubor se schématy přípravku v CAD systému Eagle 5.1.0;
 - ***.brd** ... soubor s návrhem desky s plošnými spoji v CAD systému Eagle 5.1.0;
 - ***.txt** ... rozpiska součástí pro daný přípravek;
 - ***.pov** ... soubor s daty pro renderovací program Pov-Ray;
 - ***.bmp** ... vyrenderovaný 3D pohled na osazenou desku měřicího přípravku;
 - ***_foto.jpg** ... fotografie skutečného provedení měřicího přípravku;
 - ***_DPS.png** ... obrázek s klišé plošných spojů v rozlišení 600 DPI (měřítko 1:1, určeno pro výrobu desky s plošnými spoji pomocí fotoproduktu, termoproduktu či laserem);

- ***_osazovák.png** ... osazovací schéma v rozlišení 600 DPI (měřítko 1:1);
 - ***_vrtání.png** ... vrtací plán desky měřicího přípravku v rozlišení 600 DPI (měřítko 1:1);
 - ***_laser.png** ... obrázek s popisem desky ze strany součástek (měřítko 1:1, určeno pro gravírovací laser).
- **Protokoly** ... adresář se zadáními všech 15 měřicích úloh. Adresář je dělen do podadresářů M01 až M15. Každý z podadresářů obsahuje tyto soubory:
- ***.pdf** ... zadání jednotlivých měřicích úloh;
 - ***.ms13** ... počítačové simulace pro jednotlivá zapojení v programu NI Multisim 13.0 myDAQ.
- **Dokumentace_myDAQ** ... adresář s elektronickou dokumentací k zařízení NI myDAQ (vše ve formátu pdf).
- **Diplomová_práce** ... adresář obsahující pdf soubor s diplomovou prací autora.

11. Přílohy

Příloha I: Učební plán oboru 26-41-M/01 Elektrotechnika

Kód a název oboru vzdělávání: **26 – 41 – M/01 Elektrotechnika**
 Název ŠVP: **Elektrotechnika – počítače a robotika**
 Stupeň vzdělání: střední vzdělání s maturitní zkouškou
 Délka studia: 4 roky
 Forma studia: denní
 Datum platnosti: od 1. 9. 2011

Kategorie a názvy vyučovacích předmětů	Počet týdenních vyučovacích hodin				
	1. roč.	2. roč.	3. roč.	4. roč.	Celkem
A. Povinné vyučovací předměty					
<i>a) Základní předměty</i>					
Cesky jazyk ^{1), 2)}	2	2	2	1	7
Estetická výchova ²⁾	1	1	1	2	5
Cizí jazyk (AJ/NJ) ^{1), 12)}	4	3	3	3	13
Dějepis ⁴⁾	2	-	-	-	2
Společenská nauka ^{3), 4)}	1	1	1	-	3
Tělesná výchova	2	2	2	2	8
Matematika ³⁾	3	4	3	3	13
Fyzika	2	2	-	-	4
Chemie	1	-	-	-	1
Biologie a ekologie	-	1	-	-	1
Informační a komunikační technologie ³⁾	2	2	-	-	4
Ekonomika a organizace ⁴⁾	-	-	2	1	3
Technická dokumentace	2	2	-	-	4
Elektrotechnika	-	2	-	-	2
Provozní elektrotechnika ⑤	-	-	3	-	3
Elektronika ⑤	-	2+2	3	-	7
Číslicová technika	-	2	-	-	2
Mikroprocesorová technika	-	-	2	-	2
Projektování mikroprocesorových systémů	-	-	-	3	3
Měření a diagnostika	-	-	3	3	6
Automatizační technika ⑤	-	-	2	4	4
Strojirensství	-	-	-	2	2
Aplikovaná informatika ⁵⁾	2	-	-	-	2
Programování ⑤	-	0	4	-	4
Projektový seminář ⁶⁾	-	-	-	1	1
Pisemná elektronická komunikace ⁷⁾	2	-	-	-	2
Úvod do světa práce	1	-	-	-	1
Základy techniky ⁸⁾	3	-	-	-	3
Praxe ⁹⁾ ①	3	3	3	3	12
Projektová praxe ⑤	-	-	-	3	3
<i>b) Volitelné předměty</i>					
Maturitní seminář ¹⁰⁾	-	-	-	2	2
B. Nepovinné předměty ¹¹⁾					
Celkový týdenní počet hodin	33	31	34	31	129

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Předměty, ve kterých jsou zařazeny Certifikované moduly.

Poznámky k učebnímu plánu:

- 1) Učební plán může ředitel školy upravit až do 10% hodinové dotace. Přitom nesmí být žádný základní předmět v rámci učebnímu plánu zrušen a hodinová dotace skupin předmětů zahrnujících jednu vzdělávací oblast Rámcového vzdělávacího programu (RVP) nesmí být souhrnně nižší, než stanovená minimální hodinová dotace dané vzdělávací oblasti v RVP.
- 2) Obsah modulů může ředitel školy upravit do 30 % s ohledem na nové technologie, modernizaci oboru, podmínky regionu a požadavky sociálních partnerů.
- 3) Symbolem ¹⁾ jsou označeny předměty, ze kterých bude každý žák skládat společnou část státem zadávané maturitní zkoušky.
- 4) Symbolem ²⁾ je označen předmět, ze kterých bude každý žák skládat nepovinnou zkoušku profilové části maturitní zkoušky *Český jazyk a literatura*, pokud si tuto možnost zvolí.
- 5) Symbolem ³⁾ jsou označeny předměty, ze kterých si žák vybere jeden ze kterého bude skládat společnou část státem zadávané maturitní zkoušky *Matematika 1* nebo *Občanský základ* nebo *Informačně technický základ* (volitelná zkouška).
- 6) Obsah volitelné společné části maturitní zkoušky *Informačně technický základ* netvoří jen výše uvedený předmět, ale všechny předměty využívající ICT.
- 7) Symbolem ⁴⁾ jsou označeny předměty, ze kterých se skládá obsah volitelné společné části maturitní zkoušky *Občanský základ*.
- 8) Profilová část maturitní zkoušky se skládá ze 3 povinných zkoušek. Ředitel určí nabídku povinných zkoušek. Při volbě předmětu všech tří zkoušek bude preferována profilace školy a požadavky sociálních partnerů, především v oblasti odbornosti žáka. Vedle povinných zkoušek určí ředitel i nabídku nepovinných profilových zkoušek podle zákona.
- 9) Symbolem ⁵⁾ je označen předmět, jehož obsah bude zaměřen na aplikované využívání ICT v rámci odbornosti.
- 10) Symbolem ⁶⁾ je označen předmět *Projektový seminář*, jehož obsah bude zaměřen na metodiku a tvorbu žakovského projektu, který bude vždy součástí povinné zkoušky profilové části maturitní zkoušky.
- 11) Symbolem ⁷⁾ je označen předmět, jehož obsah bude zaměřen na podporu základních ICT vyžadovaných při společné části maturitní zkoušky.
- 12) Symbolem ⁸⁾ je označen předmět, jehož obsah bude modulově rozdělen na 2 oblasti – strojírenství a elektrotechniku.
- 13) Symbolem ⁹⁾ je označen předmět *Praxe*, jehož součástí jsou čtyři týdny souvislé praxe. Ty mohou být rozděleny do 2. a 3. ročníku, nebo realizovány ve 3. ročníku. Tuto souvislou praxi vykonávají žáci v podnicích, firmách a na smluvně zajištěných pracovištích.
- 14) Symbolem ¹⁰⁾ je označen povinně volitelný předmět, jehož obsah bude určen zvolenou zkouškou žáka v rámci společné části státem zadávané maturitní zkoušky *Matematika 1* nebo *Občanský základ* či *Informačně technický základ* (volitelná zkouška).
- 15) Symbolem ¹¹⁾ je označena nabídka nepovinných předmětů, které určí a schválí, včetně jejich obsahu, před zahájením příslušného školního roku ředitel školy na návrh předmětových komisí. Žák se může v jednom školním roce přihlásit nejvýše do dvou nepovinných vyučovacích předmětů.
- 16) Cizí jazyk si volí žák při vstupu na střední školu. Vzhledem k charakteru výuky je preferován výběr anglického jazyka. Pokud žák nepokračuje ve studiu toho jazyka, kterému se učil na základní škole, nabídne mu škola již od 1. ročníku doplňkový kurz cizího jazyka.
- 17) Počet vyučovacích hodin cvičení není v učebním plánu uveden. Rozsah cvičení ve vyučovacím předmětu se řídí charakterem vyučovacích předmětů. Při cvičení se třída dělí na skupiny v souladu s platnými předpisy BOZP. Nestanoví-li přípustnou velikost skupin předpisy BOZP, hygienické předpisy apod., určí ji ředitel školy podle platných předpisů MŠMT ČR a finančních možností školy.
- 18) Škola v souladu s metodickým pokynem MŠMT organizuje v prvním až třetím ročníku týdenní lyžařský výcvikový kurz a sportovně turistický kurz. Celková doba trvání kurzů nesmí přesáhnout dva týdny.
- 19) K podpoře rozvíjení klíčových a obecných kompetencí může škola v rámci časové rezervy organizovat v kterémkoli ročníku projektové týdny, zaměřené na zpracování a hodnocení žakovských projektů.
- 20) Jako nepovinný předmět se vyučuje náboženství, pokud se k předmětu náboženství uskutečňovanému danou církví nebo náboženskou společností přihlásí ve školním roce alespoň 7 žáků školy. K vyučování náboženství lze spojovat žáky z několika ročníků jedné školy nebo více škol, nejvýše však do počtu 30 žáků ve třídě. Další podrobnosti stanoví zákon.

Příloha II: Protokol o měření č. M1

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421			
Protokol o laboratorním cvičení			
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR	třída: ET3
kontroloval:		datum:	hodnocení:
připomínky:		č. skupiny:	č. protokolu: M1
		listů:	příloh:
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:	
úloha: Seznámení s měřicím rozhraním National Instruments myDAQ			
<u>1. Zadání</u>			
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte se základními měřicími přístroji a proveďte následující měření:</p>			
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). Kmitočet 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 kursory a pomocí nich změřte trvání jedné periody T , velikost amplitudy U_{\max} a efektivní hodnotu napětí U_{ef} . Zobrazený oscilogram uložte do souboru.			
3) Práce s Bodeho analysátorem			
a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod jednoduchého RC článku.			
b) V režimu simulace zobrazte s využitím Bodeho analysátoru amplitudovou a fázovou kmitočtovou charakteristiku. Dolní kmitočet analýzy (Start Frequency) volte 100 Hz, horní kmitočet analýzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) volte 10.			

- c) Pomocí kursorů nalezněte kmitočet $f_{m,sim}$, při kterém dojde k poklesu napěťového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na kmitočtu 100 Hz.
- d) Zjistěte hodnotu kmitočtu $f_{-60,sim}$, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .
- e) Zjistěte hodnotu napěťového přenosu $a_{u2k,sim}$ obvodu pro kmitočet 2 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

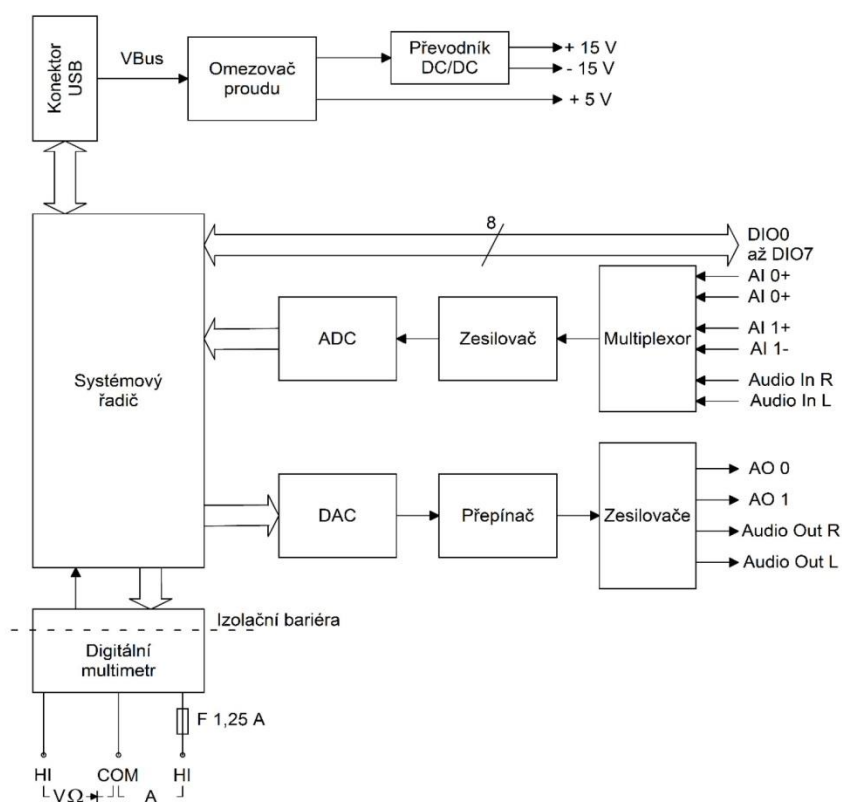
Tento protokol má za úkol vás seznámit s jednou z možných metod měření a diagnostiky elektronických obvodů. Touto metodou je on-line měření pomocí číslicového samočinného počítače s připojeným měřicím rozhraním National Instruments myDAQ. Pojmeme on-line měření zde myslíme počítačem řízený proces měření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



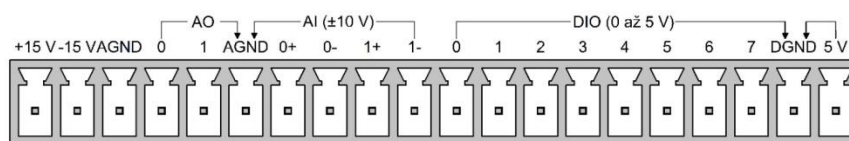
Obr. 1. Fotografie měřicího rozhraní National Instruments myDAQ

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.



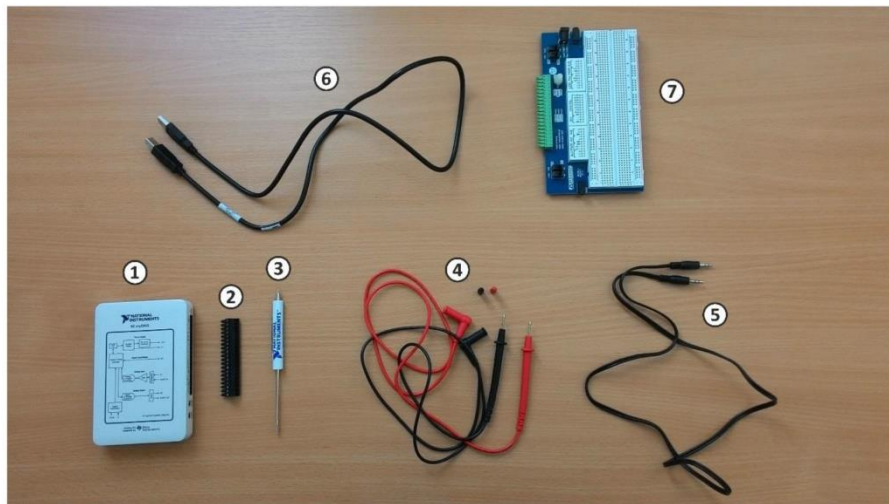
Obr. 2. Blokové schéma měřicího rozhraní NI myDAQ

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.

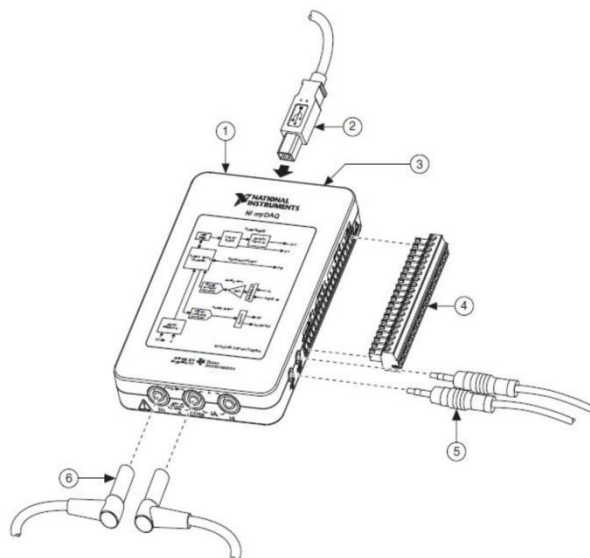


Obr. 3. Rozmístění signálů na systémovém konektoru rozhraní NI myDAQ

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 rozhraní 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

~ 4 ~

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), dynamický analyzátor signálu (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 odebrat 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 zdířek 4 mm umístěných na boku zařízení myDAQ (obr. 7).



Obr. 7. Zdíčky pro připojení měřicích sond multimetru

Funkce	Rozsah	Rozlišení	Přesnost ($\pm\%$ čtení + offset)	
Stojnosměrné 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
Stojnosměrný 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			

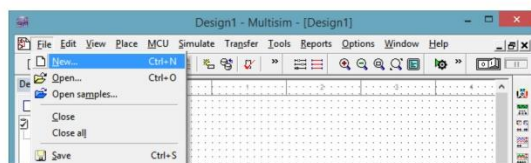
Tab. 1. Parametry multimetru myDAQ

V. Spolupráce programu NI Multisim s rozhraním NI myDAQ

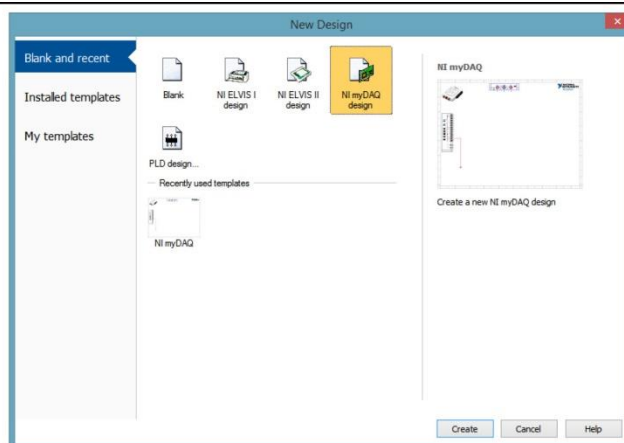
National Instruments Multisim je simulační program určený pro návrh schémat elektronických obvodů a jejich simulaci buď pomocí virtuálních měřicích přístrojů, nebo s využitím různých druhů analys. Po doinstalování potřebného software z disku DVD dodávaného s rozhraním NI myDAQ získáme v Multisimu možnost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

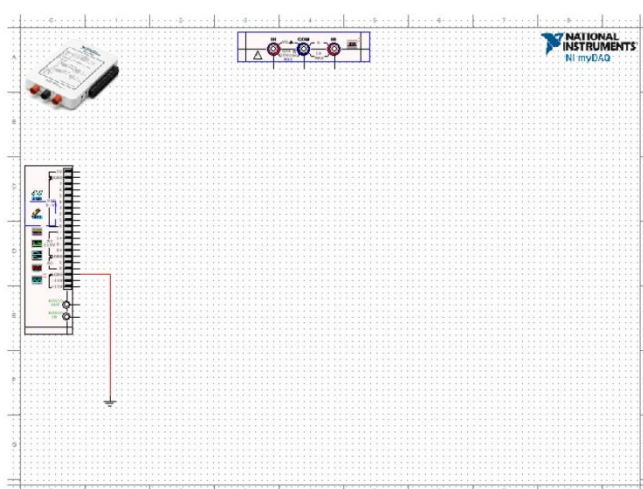
File → New → NI myDAQ Design → Create.



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

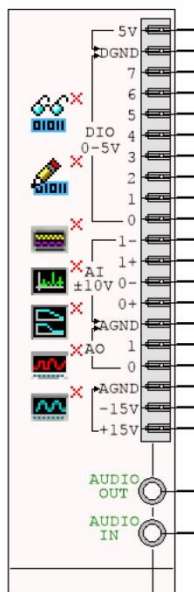


Obr. 9. Vytvoření nové pracovní plochy myDAQ – krok 2



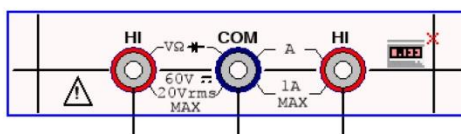
Obr. 10. Vzhled pracovní plochy myDAQ

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 obvody 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) Sonda 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). Kmitočet 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.

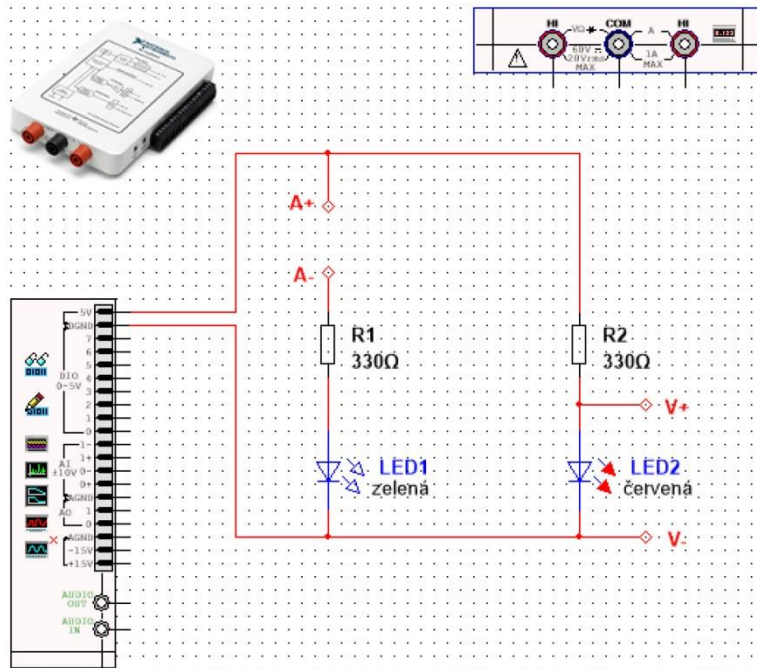
- d) Na osciloskopu zobrazíme časový průběh výstupního signálu generátoru. Zobrazíme si kursory a změříme trvání jedné periody T , velikost amplitudy U_{\max} a efektivní hodnotu napětí U_{ef} . Zobrazený oscilogram uložíme do souboru. Ukončíme běh simulace.

3) *Práce s Bodeho analysátorem*

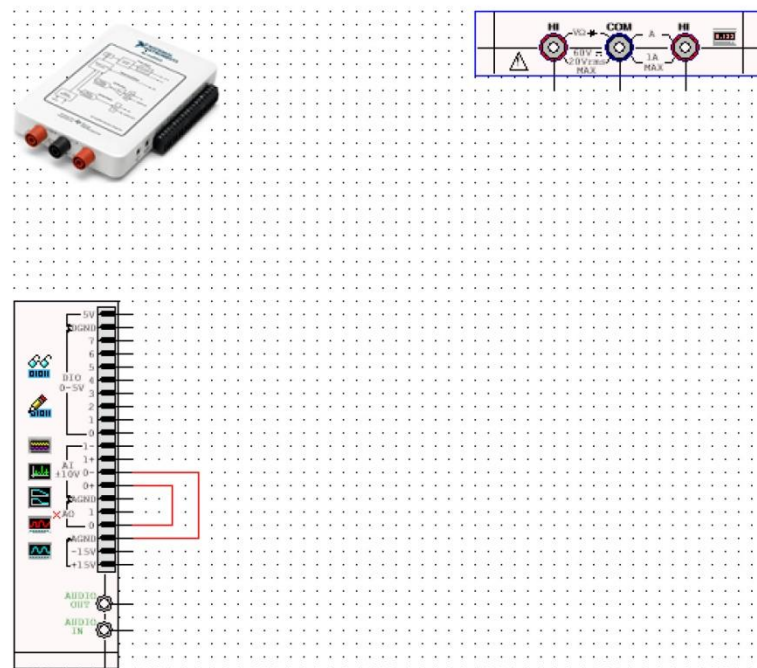
- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle předloženého schématu obvod jednoduchého RC článku.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Poklepáním otevřeme menu Bodeho analysátoru (NI ELVISmx Bode Analyzer). Dolní kmitočet analyzy (Start Frequency) nastavíme 100 Hz, horní kmitočet analyzy (Stop Frequency) 10 kHz, počet měřicích bodů na dekádu (Steps) nastavíme 10.
- e) Spustíme běh simulace. Pomocí Bodeho analysátoru zobrazíme amplitudovou (tzv. modulovou) a fázovou kmitočtovou charakteristiku RC článku.
- f) S využitím kursorů nalezneme kmitočet $f_{m,\text{sim}}$, při kterém dochází k poklesu napětového přenosu (Gain) simulovaného obvodu o hodnotu -3 dB oproti přenosu na kmitočtu 100 Hz.
- g) Pomocí kursorů určíme hodnotu kmitočtu $f_{-60,\text{sim}}$, kdy fázový posun simulovaného obvodu nabyde hodnoty -60° .
- h) Pomocí kursorů zjistíme hodnotu napětového přenosu $a_{u2k,\text{sim}}$ (dB) pro kmitočet 2 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

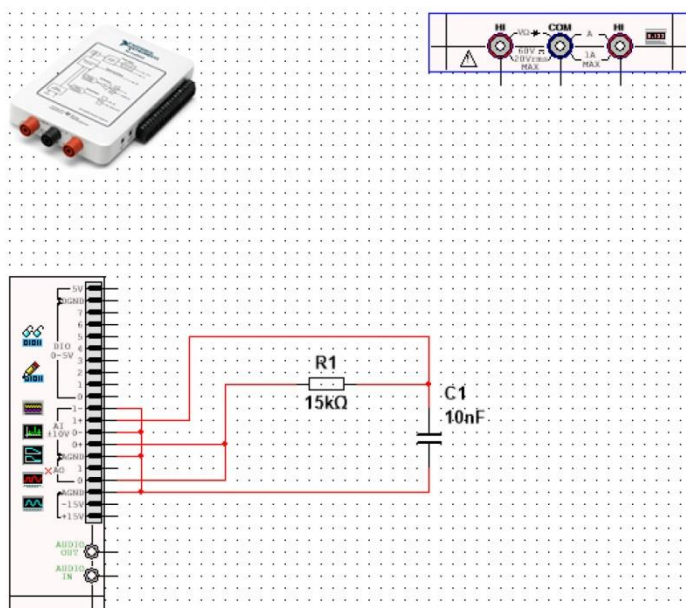
1) Práce s číslicovým multimetrem



2) Práce s funkčním generátorem a osciloskopem



3) Práce s Bodeho analyzátořem



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 analysátorem

Měřený parametr	Simulace	On-line měření (myDAQ)
f_m [kHz]		
f_{-60} [kHz]		
$a_{u,2k}$ [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.

Příloha III: Protokol o měření č. M2

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M2
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Ověřování Kirchhoffových zákonů		
<p><u>1. Zadání</u></p> <p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku proveďte ověření platnosti I. a II. Kirchhoffova zákona. Dále ověřte platnost pravidla, že výkon zdroje je roven součtu příkonů v obvodu.</p> <p>1) <i>Ověření I. Kirchhoffova zákona (proudového)</i></p> <p>a) V prostředí simulačního programu NI Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro ověřování Kirchhoffových zákonů a výkonů.</p> <p>b) Z hodnot napětí a odporů obvodových součástek vypočtete elektrické proudy $I_{1,vyp}$, $I_{2,vyp}$, $I_{3,vyp}$ tekoucí jednotlivými větvemi nakresleného obvodu a tyto hodnoty zapište do příslušné tabulky. Spínače S_1, S_2, S_3 považujte za sepnuté.</p> <p>c) V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnoty elektrických proudů $I_{1,sim}$, $I_{2,sim}$, $I_{3,sim}$. Změřené hodnoty zapište do příslušné tabulky.</p> <p>d) V režimu myDAQ (on-line měření) změřte s využitím číslicového multimetru myDAQ hodnoty elektrických proudů $I_{1,skut}$, $I_{2,skut}$, $I_{3,skut}$. Změřené hodnoty zapište do příslušné tabulky.</p> <p>e) Vysvětlete případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami proudů. Ověřte, že platí znění I. Kirchhoffova zákona.</p> <p>2) <i>Ověření II. Kirchhoffova zákona (napět'ového)</i></p> <p>a) Z hodnot napětí a odporů obvodových součástek vypočtete úbytky napětí $U_{1,vyp}$, $U_{2,vyp}$, $U_{3,vyp}$, $U_{4,vyp}$, $U_{5,vyp}$ na odpovídajících rezistorech a tyto hodnoty zapište do příslušné tabulky. Spínače S_1, S_2, S_3 považujte za sepnuté.</p> <p>b) V režimu simulace změřte s využitím číslicového multimetru hodnoty úbytků napětí $U_{1,sim}$, $U_{2,sim}$, $U_{3,sim}$, $U_{4,sim}$, $U_{5,sim}$. Změřené hodnoty zapište do příslušné tabulky.</p> <p>c) V režimu myDAQ (on-line měření) změřte s využitím číslicového multimetru myDAQ hodnoty úbytků napětí $U_{1,skut}$, $U_{2,skut}$, $U_{3,skut}$, $U_{4,skut}$, $U_{5,skut}$. Změřené hodnoty zapište do příslušné tabulky.</p> <p>d) Vysvětlete případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami elektrických napětí. Ověřte, že platí znění II. Kirchhoffova zákona.</p>		

3) *Ověřování výkonů*

- Dopočítejte hodnoty výkonů $P_{\text{sim}}, P_{1,\text{sim}}, P_{2,\text{sim}}, P_{3,\text{sim}}, P_{4,\text{sim}}, P_{5,\text{sim}}$ pro režim simulace. Ověřte, že součet příkonů $P_{1,\text{sim}}$ až $P_{5,\text{sim}}$ je roven výkonu zdroje P_{sim} .
- Dopočítejte hodnoty výkonů $P_{\text{skut}}, P_{1,\text{skut}}, P_{2,\text{skut}}, P_{3,\text{skut}}, P_{4,\text{skut}}, P_{5,\text{skut}}$ pro režim on-line měření. Ověřte, že součet příkonů $P_{1,\text{skut}}$ až $P_{5,\text{skut}}$ je roven výkonu zdroje P_{skut} .

2. Cíl měření

Prakticky si ověřit platnost I. a II. Kirchhoffova zákona. Naučit se nepřímým měřit výkon v elektrickém obvodu.

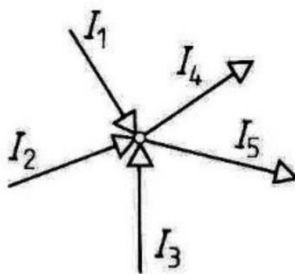
3. Teoretický rozbor

Kirchhoffovy zákony

Objevil je německý elektrotechnik Gustav Robert Kirchhoff r. 1845. Kirchhoffovy zákony spolu s Ohmovým zákonem slouží k výpočtu základních obvodových veličin v elektrických obvodech.

První Kirchhoffův zákon

Je to zákon o zachování elektrických nábojů. Stejnoseměrný proud je dán elektrickým nábojem, který projde průřezem vodiče za jednu sekundu. Tento náboj se nemůže ve vodiči nikde nahromadit ani vznikat. Všemi průřezy nerozvětveného vodiče prochází týž proud. Dělí-li se proud do několika větví, musí být součet proudů přicházejících do uzlu roven součtu proudů, které z uzlu odcházejí.



Definice: Algebraický součet proudů do uzlu vstupujících (+) a z uzlu vystupujících (-) je roven nule.

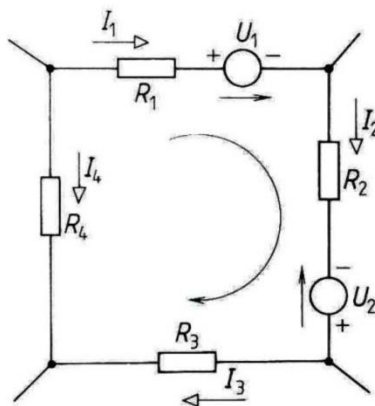
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 ; n \in \mathbb{N}$$

Pro obrázek tedy platí:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Druhý Kirchhoffův zákon

Je zákonem o zachování energie. Napětí na každém spotřebiči elektrického obvodu je dáno prací potřebnou k přemístění elektrického náboje mezi svorkami spotřebiče. Projde-li náboj po uzavřené dráze, musí být příslušná práce nulová, neboť náboj se vrátil na místo téhož potenciálu. Tedy práce vykonaná úplným oběhem po kterékoli uzavřené smyčce v obvodu je rovna nule.



Definice: V libovolné uzavřené smyčce elektrického obvodu platí, že algebraický součet všech napětí v jednotlivých větvích (tj. součet napětí všech zdrojů a spotřebičů) je roven nule. Platí konvence, že napětí mající smysl opačný než je smysl zvolené orientované smyčky bereme jako záporná, napětí mající smysl shodný se smyslem smyčky pak bereme jako kladná.

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0 ; n \in \mathbb{N}$$

Pro obrázek tedy platí:

$$R_1 \cdot I_1 + U_1 + R_2 \cdot I_2 - U_2 + R_3 \cdot I_3 - R_4 \cdot I_4 = 0$$

4. Postup měření

1) *Ověření I. Kirchhoffova zákona (proudového)*

- Z hodnot napětí a odporů obvodových součástí vypočteme elektrické proudy $I_{1,vyp}$, $I_{2,vyp}$, $I_{3,vyp}$ tekoucí jednotlivými větvemi nakresleného obvodu a tyto hodnoty zapíšeme do tabulky. Spínače S_1 , S_2 , S_3 jsou sepnuté.
- 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 přiloženého schématu měřený obvod.
- Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí číslicového multimetru změříme hodnoty proudů $I_{1,sim}$, $I_{2,sim}$, $I_{3,sim}$ a zapíšeme je do tabulky. Po odměření všech hodnot ukončíme simulaci.

- f) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Spustíme on-line měření. Spínače S_1, S_2, S_3 jsou sepnuté. Pomocí číslicového multimetru myDAQ změříme hodnoty proudů $I_{1,skut}, I_{2,skut}, I_{3,skut}$ a zapíšeme je do tabulky. Po odměření ukončíme režim on-line měření.
- g) Pokusíme se vysvětlit případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami proudů. Ověříme platnost I. Kirchhoffova zákona.

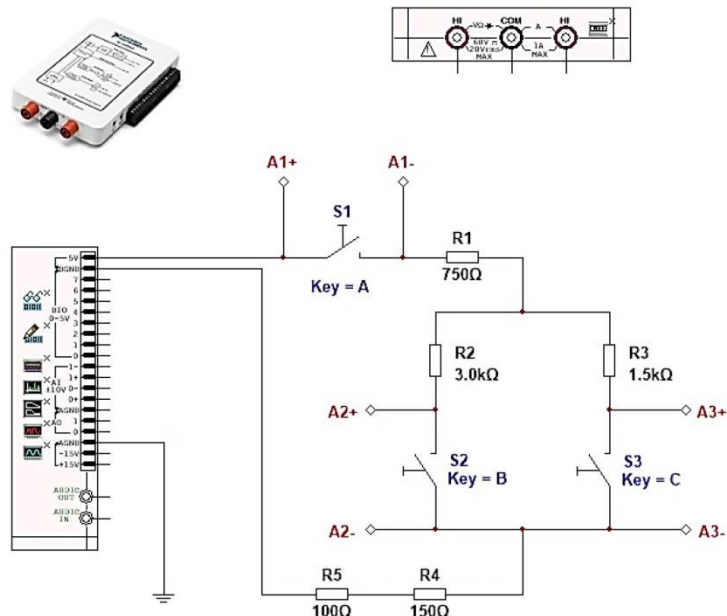
2) **Ověření II. Kirchhoffova zákona (napět'ového)**

- a) Z hodnot napětí a odporů obvodových součástek vypočteme úbytky napětí $U_{1,vyp}, U_{2,vyp}, U_{3,vyp}, U_{4,vyp}, U_{5,vyp}$ na odpovídajících rezistorech a tyto hodnoty zapíšeme do tabulky. Spínače S_1, S_2, S_3 jsou sepnuté.
- b) V režimu simulace změříme s využitím číslicového multimetru hodnoty úbytků napětí $U_{1,sim}, U_{2,sim}, U_{3,sim}, U_{4,sim}, U_{5,sim}$. Změřené hodnoty zapíšeme do tabulky. Po odměření ukončíme simulaci.
- c) V režimu myDAQ (on-line měření) změříme pomocí číslicového multimetru myDAQ hodnoty úbytků napětí $U_{1,skut}, U_{2,skut}, U_{3,skut}, U_{4,skut}, U_{5,skut}$. Změřené hodnoty zapíšeme do tabulky. Po odměření ukončíme on-line režim.
- d) Pokusíme se vysvětlit případné rozdíly mezi vypočítanými, simulovanými a skutečně změřenými hodnotami napětí. Ověříme platnost II. Kirchhoffova zákona.

3) **Ověřování výkonů**

- a) Ze simulovaných hodnot napětí a proudů dopočítáme hodnoty výkonů $P_{sim}, P_{1,sim}, P_{2,sim}, P_{3,sim}, P_{4,sim}, P_{5,sim}$ pro režim simulace. Ověříme, že součet příkonů $P_{1,sim}$ až $P_{5,sim}$ je roven výkonu zdroje P_{sim} .
- b) Z on-line hodnot napětí a proudů dopočítáme hodnoty výkonů $P_{skut}, P_{1,skut}, P_{2,skut}, P_{3,skut}, P_{4,skut}, P_{5,skut}$ pro režim on-line měření. Ověříme, že součet příkonů $P_{1,skut}$ až $P_{5,skut}$ je roven výkonu zdroje P_{skut} .
- c) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek pro ověřování Kirchhoffových zákonů.

7. Tabulky hodnot

1) Ověření I. Kirchhoffova zákona

	Proud I_1 [mA]	Proud I_2 [mA]	Proud I_3 [mA]
Výpočet			
Simulace			
On-line měření			

2) Ověření II. Kirchhoffova zákona

	Napětí U_1 [V]	Napětí U_2 [V]	Napětí U_3 [V]	Napětí U_4 [V]	Napětí U_5 [V]
Výpočet					
Simulace					
On-line měření					

3) Ověřování výkonů

	Příkon P_1 [mW]	Příkon P_2 [mW]	Příkon P_3 [mW]	Příkon P_4 [mW]	Příkon P_5 [mW]	Výkon P [mW]
Simulace						
On-line měření						

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

V tomto protokolu se nekonstruují grafy.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se povedl výpočet, simulace a on-line měření. Podařilo se dokázat platnost Kirchhoffových zákonů a pravidla o výkonech?

Příloha IV: Protokol o měření č. M3

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M3
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření výkonu v obvodu stejnosměrného proudu		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku změřte elektrický příkon v obvodu stejnosměrného proudu pro následující zátěže: kondensátor, cívka, rezistor, žárovka.</p>		
<p>1) <i>Měření příkonu cívky</i></p> <p>a) V režimu simulace změřte nepřímou metodou elektrický příkon miniaturní cívky s ferritovým jádrem při napájení zdrojem 5 V.</p> <p>b) Měření z bodu 1a proveďte v režimu on-line měření.</p> <p>c) Porovnejte simulované a skutečně změřené hodnoty.</p>		
<p>2) <i>Měření příkonu kondensátoru</i></p> <p>a) V režimu simulace změřte nepřímou metodou elektrický příkon hliníkového elektrolytického kondensátoru při napájení zdrojem 5 V.</p> <p>b) Měření z bodu 2a proveďte v režimu on-line měření.</p> <p>c) Porovnejte simulované a skutečně změřené hodnoty.</p>		
<p>3) <i>Měření příkonu rezistoru</i></p> <p>a) V režimu simulace změřte závislost proudu $I_{R,sim}$ tekoucího rezistorem, odporu R_{sim} a příkonu $P_{R,sim}$ na svorkovém napětí U. Hodnotu svorkového napětí nastavujte od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.</p> <p>b) V režimu on-line měření změřte závislost proudu $I_{R,skut}$ tekoucího rezistorem, odporu R_{skut} a příkonu $P_{R,skut}$ na svorkovém napětí U. Hodnotu svorkového napětí nastavujte odporovým trimrem od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.</p> <p>c) Simulované a skutečně změřené závislosti $I_R = f(U)$, $R = f(U)$, $P_R = f(U)$ vynesete do společných grafů.</p>		
<p>4) <i>Měření příkonu žárovky</i></p> <p>a) V režimu simulace změřte závislost proudu $I_{Z,sim}$ tekoucího žárovkou, odporu $R_{Z,sim}$ a příkonu $P_{Z,sim}$ na svorkovém napětí U. Hodnotu svorkového napětí nastavujte od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.</p> <p>b) V režimu on-line měření změřte závislost proudu $I_{Z,skut}$ tekoucího žárovkou, odporu $R_{Z,skut}$ a příkonu $P_{Z,skut}$ na svorkovém napětí U. Hodnotu svorkového napětí nastavujte odporovým trimrem od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V.</p> <p>c) Simulované a skutečně změřené závislosti $I_Z = f(U)$, $R_Z = f(U)$, $P_Z = f(U)$ vynesete do společných grafů.</p>		

2. Cíl měření

Porovnání chování kondensátoru, cívky (kmitočtově závislé součástky), rezistoru (lineární odporová součástka) a žárovky (nelineární odporová součástka) v obvodu stejnosměrného proud.

3. Teoretický rozbor

Práce a výkon elektrického proudu

Aby mohl procházet vodičem elektrický proud, musí se k jeho koncům připojit zdroj elektrické energie, který mezi dvěma místy (výstupními svorkami) vytváří a trvale udržuje elektrické napětí.

Elektrické napětí U je definováno prací A potřebnou k přemístění elektrického náboje Q . Platí vztah

$$U = \frac{A}{Q} \quad [V; J, C]$$

Je tedy zřejmé, že práce bude dána součinem napětí a náboje

$$A = U \cdot Q \quad [J; V, C]$$

Ze vztahu pro elektrický proud

$$I = \frac{Q}{t} \quad [A; C, s]$$

můžeme vyjádřit, že $Q = I \cdot t$ a po dosazení do rovnice pro práci A dostaneme vztah

$$A = U \cdot I \cdot t \quad [J; V, A, s]$$

Elektrická práce, kterou vykoná stejnosměrný proud mezi dvěma místy v proudovém obvodu za určitou dobu, je dána napětím U mezi těmito místy, proudem I a dobou t , po kterou proud obvodem prochází. Elektrický proud, který prochází vodičem, je vlastně pohybem elektrických nábojů, a proto se při pohybu těchto elektrických nábojů koná práce, která se mění v teplo. Práce vykonaná proudovým polem ve vodiči se rovná spotřebované energii.

Práci vykonanou za jednotku času nazýváme výkonem P a platí vztah

$$P = \frac{A}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I \quad [W; V, A]$$

4. Postup měření

1) Měření příkonu cívky

- 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 měřený obvod.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí číslicového multimetru změříme proud $I_{L,sim}$ tekoucí cívku (měříme ampérmetrem mezi svorkami A1+, COM) a úbytek napětí $U_{L,sim}$ (měříme voltmetrem mezi svorkami V1+, COM). Hodnoty zapíšeme do tabulky. Po odměření ukončíme simulaci.
- e) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Spustíme on-line měření. Pomocí multimetru změříme proud $I_{L,skut}$ a napětí $U_{L,skut}$ (multimetr zapojíme na stejné svorky jako v bodě *1d*). Hodnoty zapíšeme do tabulky. Po odměření ukončíme režim on-line měření.
- f) Pokusíme se vysvětlit případné nesrovnalosti.

2) Měření příkonu kondensátoru

- a) V režimu simulace změříme s využitím číslicového multimetru proud $I_{C,sim}$ tekoucí kondenzátorem (měříme ampérmetrem mezi svorkami A1+, COM) a svorkové napětí U (měříme voltmetrem mezi svorkami V234+, COM). Změřené hodnoty zapíšeme do tabulky. Po odměření ukončíme simulaci.
- b) V režimu myDAQ (on-line měření) změříme pomocí číslicového multimetru myDAQ hodnoty proudu $I_{C,skut}$ a napětí U (multimetr zapojíme na stejné svorky jako v bodě *2a*). Změřené hodnoty zapíšeme tabulky. Po odměření ukončíme on-line režim.
- c) Pokusíme se vysvětlit případné rozdíly mezi simulovanými a skutečně změřenými hodnotami.

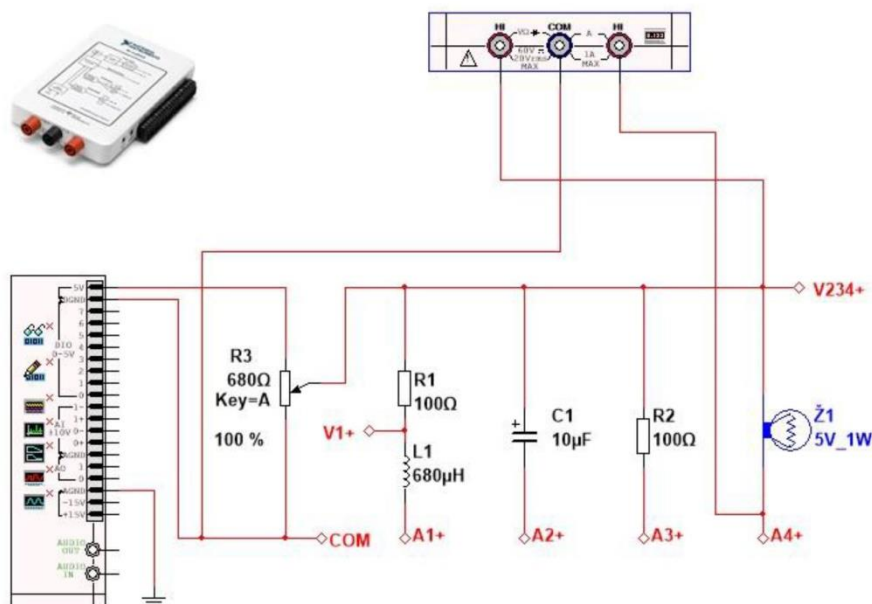
3) Měření příkonu rezistoru

- a) V režimu simulace změříme pomocí číslicového multimetru (svorky A3+, V234+, COM) proud $I_{R,sim}$ tekoucí rezistorem pro různá svorková napětí U . Hodnotu svorkového napětí U nastavujeme laděním potenciometru R_3 v rozsahu od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V. Naměřené údaje zapisujeme do tabulky. Dopočítáme hodnoty odporu R_{sim} a příkonu $P_{R,sim}$. Ukončíme režim simulace.
- b) V režimu myDAQ (on-line měření) změříme pomocí multimetru myDAQ (zapojené svorky dtto bod *3a*) proud $I_{R,skut}$ a napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujeme laděním odporového trimru na měřicím přípravku v rozsahu od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V. Naměřené údaje zapisujeme do tabulky. Dopočítáme hodnoty odporu R_{skut} a příkonu $P_{R,skut}$. Po odměření ukončíme on-line režim.
- c) Simulované a skutečně změřené závislosti $I_R = f(U)$, $R = f(U)$, $P_R = f(U)$ vynešeme do společných grafů. Pokusíme se vysvětlit případné rozdíly.

4) Měření příkonu žárovky

- V režimu simulace změříme pomocí číslicového multimetru (svorky A4+, V234+, COM) proud $I_{z,sim}$ tekoucí žárovkou pro různá svorková napětí U . Hodnotu svorkového napětí U nastavujeme laděním potenciometru R_3 v rozsahu od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V. Naměřené údaje zapisujeme do tabulky. Dopočítáme hodnoty odporu $R_{z,sim}$ a příkonu $P_{z,sim}$. Ukončíme režim simulace.
- V režimu myDAQ (on-line měření) změříme pomocí multimetru myDAQ (svorky A4+, V234+, COM) proud $I_{z,skut}$ a napětí U . Hodnotu svorkového napětí nastavujeme laděním odporového trimru na měřicím přípravku v rozsahu od 0 V do 5 V s krokem 0,5 V. Naměřené údaje zapisujeme do tabulky. Dopočítáme hodnoty odporu $R_{z,skut}$ a příkonu $P_{z,skut}$. Po odměření ukončíme on-line režim.
- Simulované a skutečně změřené závislosti $I_z = f(U)$, $R_z = f(U)$, $P_z = f(U)$ vynešeme do společných grafů. Pokusíme se vysvětlit případné rozdíly.
- Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek pro měření stejnosměrných výkonů.

7. Tabulky hodnot

1) Měření příkonu cívky

Režim	Napětí U_L [V]	Proud I_L [mA]	Příkon P_L [mW]
Simulace			
On-line měření			

2) Měření příkonu kondensátoru

Režim	Napětí U_C [V]	Proud I_C [mA]	Příkon P_C [mW]
Simulace			
On-line měření			

3) Měření příkonu rezistoru 100 Ω /0,6 W

Režim	U [V]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Simulace	$I_{R,sim}$ [mA]											
	R_{sim} [Ω]											
	$P_{R,sim}$ [mW]											
On-line měření	$I_{R,skut}$ [mA]											
	R_{skut} [Ω]											
	$P_{R,skut}$ [mW]											

3) Měření příkonu žárovky Tesla 5 V/50 mA

Režim	U [V]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Simulace	$I_{Z,sim}$ [mA]											
	$R_{Z,sim}$ [Ω]											
	$P_{Z,sim}$ [mW]											
On-line měření	$I_{Z,skut}$ [mA]											
	$R_{Z,skut}$ [Ω]											
	$P_{Z,skut}$ [mW]											

8. Příklad výpočtu

$$R_{\text{sim}} = \frac{U}{I_{\text{R,sim}}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \Omega$$

$$P_{\text{R,sim}} = U \cdot I_{\text{R,sim}} = \dots \text{W}$$

$$R_{\text{skut}} = \frac{U}{I_{\text{R,skut}}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \Omega$$

$$P_{\text{R,skut}} = U \cdot I_{\text{R,skut}} = \dots \text{W}$$

$$R_{\text{ž,sim}} = \frac{U}{I_{\text{ž,sim}}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \Omega$$

$$P_{\text{ž,sim}} = U \cdot I_{\text{ž,sim}} = \dots \text{W}$$

$$R_{\text{ž,skut}} = \frac{U}{I_{\text{ž,skut}}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \Omega$$

$$P_{\text{ž,skut}} = U \cdot I_{\text{ž,skut}} = \dots \text{W}$$

9. Grafy hodnot

Jako přílohy k protokolu přiložte grafy závislostí $I_{\text{R}} = f(U)$, $R = f(U)$, $P_{\text{R}} = f(U)$, $I_{\text{ž}} = f(U)$, $R_{\text{ž}} = f(U)$, $P_{\text{ž}} = f(U)$.

10. Závěr

Pokuste se vysvětlit rozdílné chování měřených součástek v obvodu stejnosměrného proudu.

Příloha V: Protokol o měření č. M4

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421			
Protokol o laboratorním cvičení			
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR	třída: ET3
kontroloval:		datum:	hodnocení:
připomínky:		č. skupiny:	č. protokolu: M4
		listů:	příloh:
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:	
úloha: Polovodičová dioda ve funkci usměrňovače			
<u>1. Zadání</u>			
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte s chováním polovodičové diody ve funkci usměrňovacího ventilu:</p>			
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 $I_{F,sim}$ tekoucí 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 kmitočtem 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 kursorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , kmitočet f a amplitudu $U_{2,max}$ výstupního průběhu napětí usměrňovače. Z průběhu anodového proudu určete jeho amplitudu $I_{D,max}$ a úhel otevření usměrňovače α .
- e) Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondensátory.

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Graetzově zapojení

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého zapojení obvod dvoucestného můstkového usměrňovače.
- b) Funkční generátor nastavte na sinusový výstup s kmitočtem 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 kursorů změřte na reálném průběhu dobu jedné periody T , kmitočet f a amplitudu $U_{2,max}$ výstupního napětí usměrňovače. Z průběhu anodového proudu určete jeho amplitudu $I_{D,max}$ a úhel otevření usměrňovače α .
- e) Měření z bodu d zopakujte pro jednotlivé nárazové kondensátory.

2. Cíl měření

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

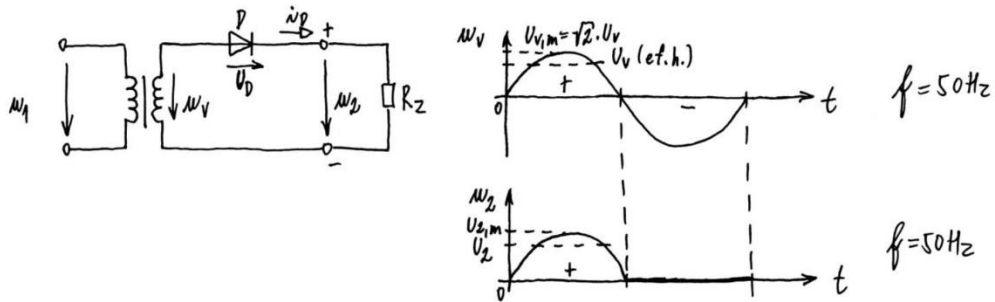
3. Teoretický rozbor

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



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - 0,7V$$

úbytek_na_Si_diodě

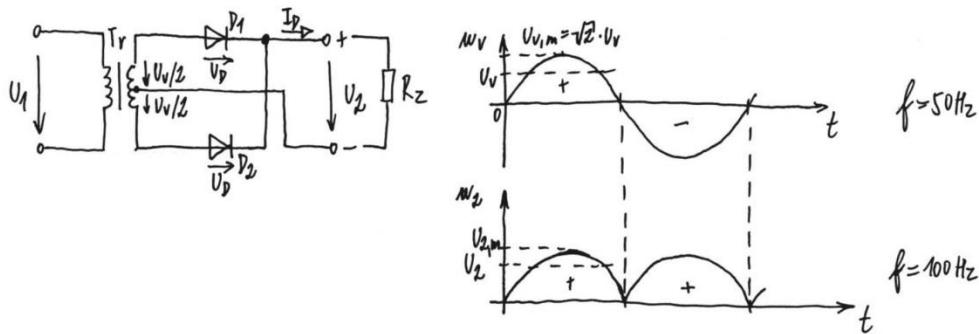
Výhody:

- 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



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - 0,7V$$

úbytek_na_Si_diodě

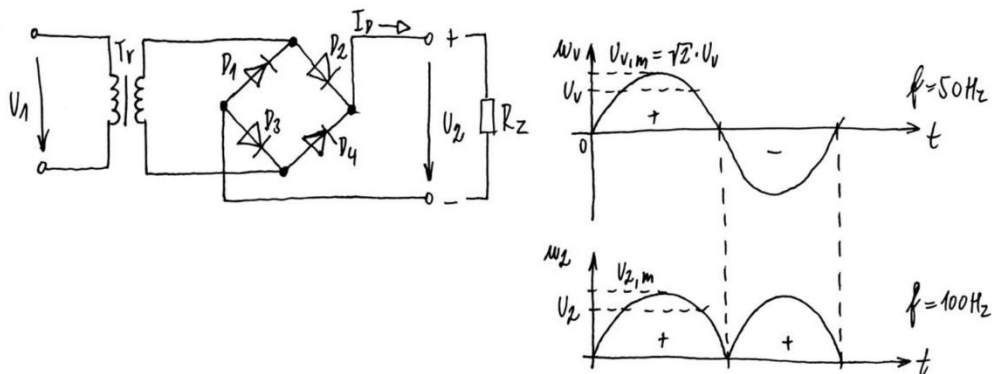
Výhody:

- potřebuje pouze dvě diody;
- velká účinnost usměrňovače.

Nevýhody:

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

3) Dvoucestný usměrňovač v můstkovém (Graetzově) zapojení



$$U_{2,m} = \sqrt{2} \cdot U_v - 2 \cdot U_D \doteq \sqrt{2} \cdot U_v - 1,4V$$

úbytek_na_Si_diodách

Výhody:

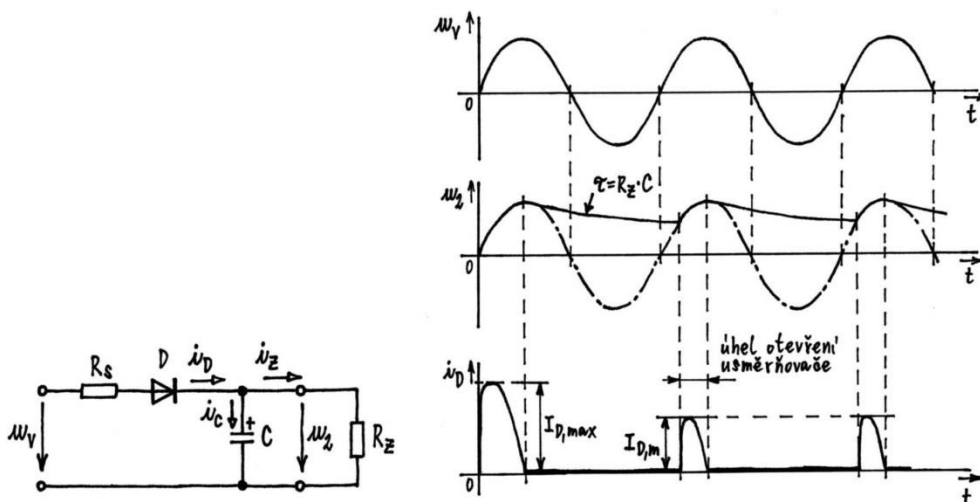
- menší napěťové zatížení diod než u uzlového zapojení;
- jednoduchý transformátor;
- může být napájen přímo ze sítě.

Nevýhody:

- menší účinnost než u uzlového zapojení;
- potřebují se čtyři diody.

I.B Usměrňovače s výstupní filtrací

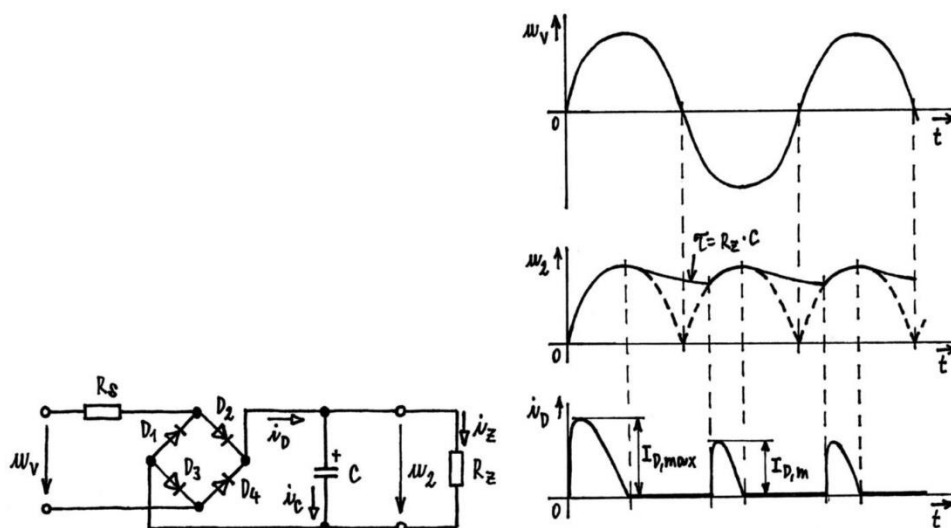
1) Jednocestný sériový usměrňovač s filtračním (nárazovým) kondenzátorem



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_2 na kondenzátoru větší než napájecí napětí u_v a dioda D je napětím u_2 polarisována 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 (Graetzově) 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

1) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody

- 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 V-A charakteristiky polovodičové diody 1N4007.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) 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.
- e) 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.

2) Měření jednocestného usměrňovače

- 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 usměrňovače s polovodičovou diodou 1N4007.
- c) Funkční generátor nastavíme na sinusový výstup s kmitočtem 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 usměrňovače 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 , kmitočet f , amplitudu výstupního napětí usměrňovače $U_{2,max}$, amplitudu anodového proudu $I_{D,max}$ a úhel otevření usměrňovače α .

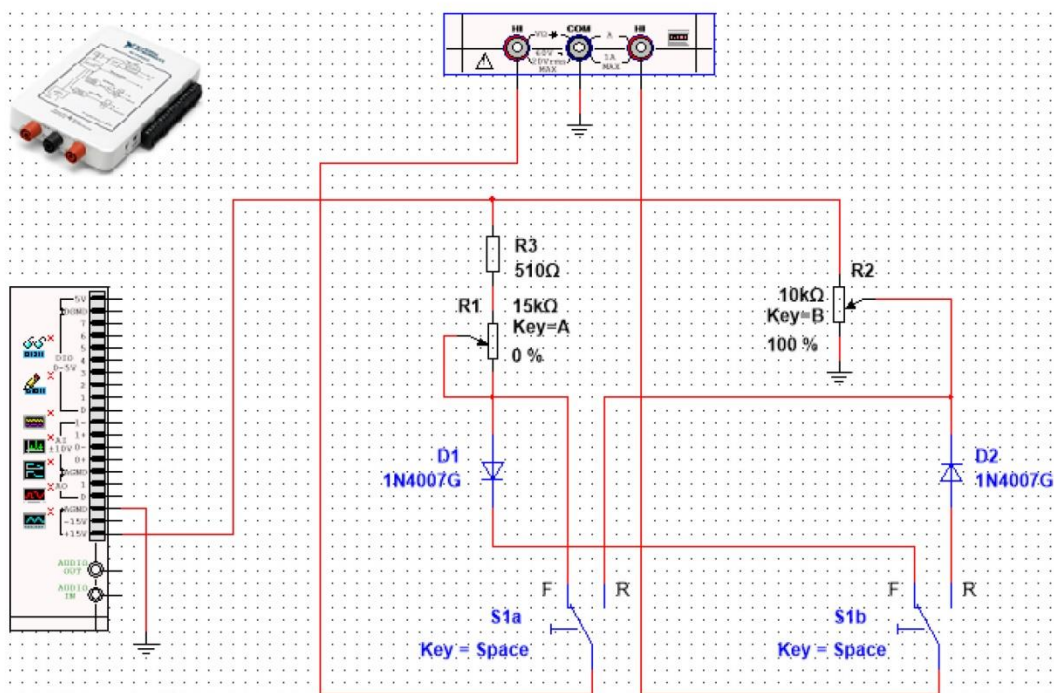
- f) Měření z předešlého bodu zopakujeme pro jednotlivé nárazové kondensátory (C_1, C_2, C_3, C_4).

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Graetzově zapojení

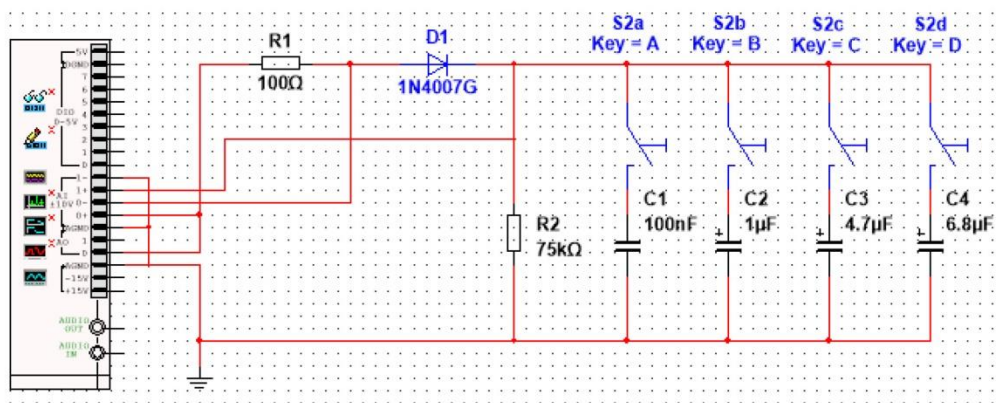
- a) V programu NI Multisim 13.0 vytvoříme nový návrh pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle předloženého schématu obvod dvoucestného můstkového usměrňovače.
- c) Funkční generátor nastavíme na sinusový výstup s kmitočtem 50 Hz a amplitudou 10 V.
- d)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

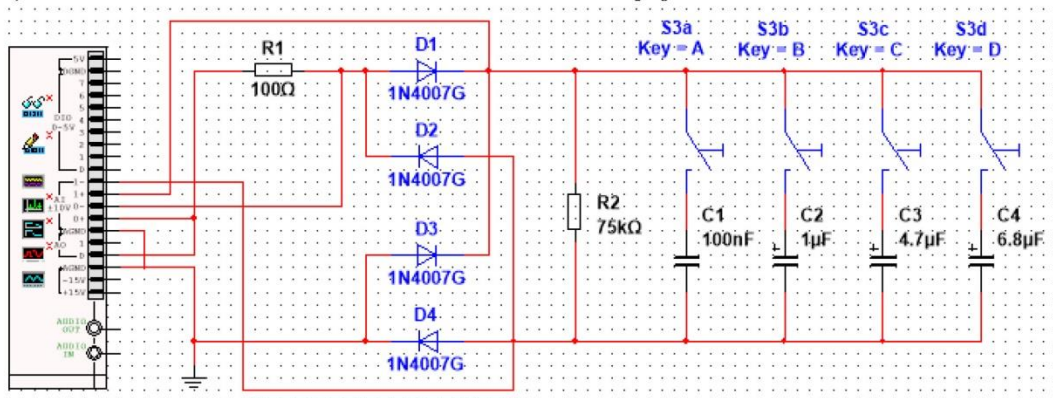
1) Měření volt-ampérové charakteristiky usměrňovací diody



2) Měření jednocestného usměrňovače



3) Měření dvoucestného usměrňovače v Graetzově zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

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

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	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
I_R [nA]	0										

Režim myDAQ (on-line měření)											
U_R [V]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
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]		
$I_{D,max}$ [mA]		
α [°]		

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

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

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

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

3) Měření dvoucestného usměrňovače v Graetzově zapojení

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

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

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

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

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

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.

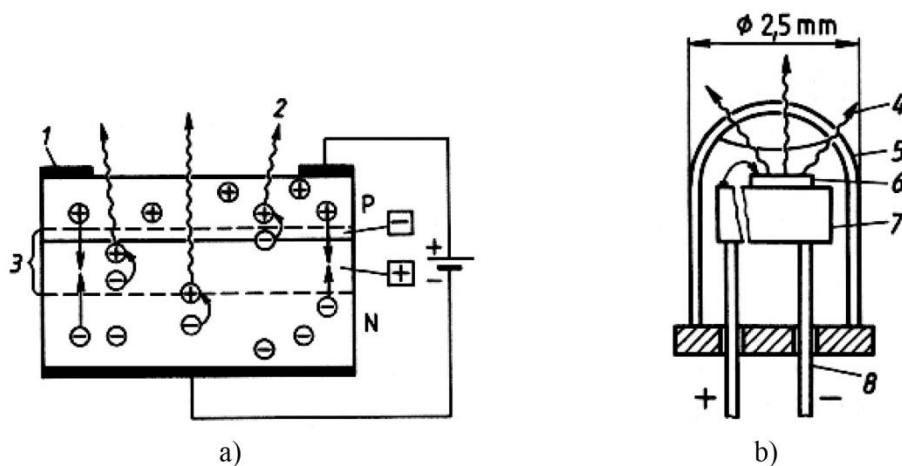
Příloha VI: Protokol o měření č. M5

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR
kontrolouval:		hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu: M5
	listů:	příloh:
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření volt-ampérových charakteristik svítivých diod (LED)		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte s chováním polovodičové svítivé diody (LED). Pro každou z diod zjistíte z grafu V-A charakteristiky prahové napětí U_{T0}, které diodu charakterizuje. Úkoly:</p> <ol style="list-style-type: none">1) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření V-A charakteristik zadaných svítivých diod v propustném směru.2) V režimu simulace nastavujte, pomocí regulování potenciometrů R_1 a R_2, podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí svítivou diodou a zaznamenejte příslušné úbytky anodového napětí $U_{F,sim}$. Měření proveďte pro všechny zadané diody.3) V režimu on-line měření nastavujte regulací odporových trimrů R_1 a R_2 podle tabulky anodový proud $I_{F,skut}$ a zaznamenejte příslušné anodové napětí $U_{F,skut}$. Měření proveďte pro všechny zadané diody.4) Všechny změřené hodnoty vynesete do společných grafů (jeden pro simulované hodnoty, druhý pro reálné hodnoty). Určete u jednotlivých diod příslušná prahová napětí U_{T0}. Porovnejte průběhy simulovaných a reálných V-A charakteristik svítivých diod, rozdíly vysvětlete.		
<u>2. Cíl měření</u>		
Prakticky si ověřit chování jednotlivých druhů polovodičových svítivých diod v obvodu stejnosměrného napětí a proudu.		
<u>3. Teoretický rozbor</u>		
Polovodičové luminiscenční (svítivé) diody (LED)		
Polovodičové svítivé diody LED (LED ... Light Emitting Diode) jsou struktury PN polarisované v propustném směru. Na přechodu PN dochází k injekci (vstřikování) menšinových nosičů elektrického náboje, z nichž velká část rekombinuje. Injekce nosičů působená průchodem proudu v propustném směru a jejich rekombinace je velmi účinná metoda přeměny elektrické energie na světelnou.		

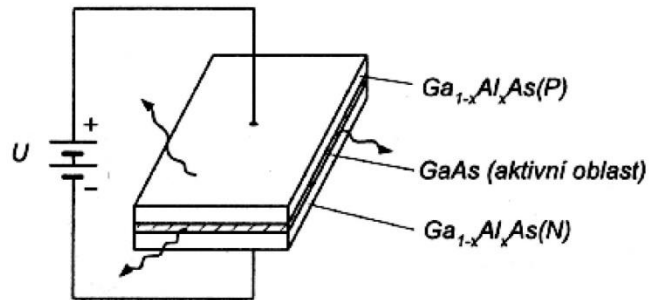
Jelikož energie W světelných vln je spjata s jejich kmitočtem ($W = h \cdot f$, kde h je Planckova konstanta a f kmitočet), závisí barva záření na šířce zakázaného pásma vyzařujícího polovodiče. Šířka zakázaného pásma (a tedy barva záření) je dána typem krystalu a dotovanými příměsí (viz tabulku).

Materiál polovodičového krystalu	Barva záření
arsenid gallitý GaAs	infračervená
fosfid gallitý GaP dotovaný zinkem a kyslíkem	klasická červená
fosfid arsenido-gallitý GaAsP podle obsahu fosforu	klasická červená až žlutá
fosfid gallitý GaP dotovaný dusíkem	klasická červená a zelená
karbid křemičitý SiC, fosfid inditý InP	klasická modrá
fosfidy AlGaInP, AlInGaP podle dotace	vysoce svítivá červená, žlutá, oranžová
nitrid gallito-inditý InGaN podle dotace	vysoce svítivá bílá, modrá, zelená, ultrafialová

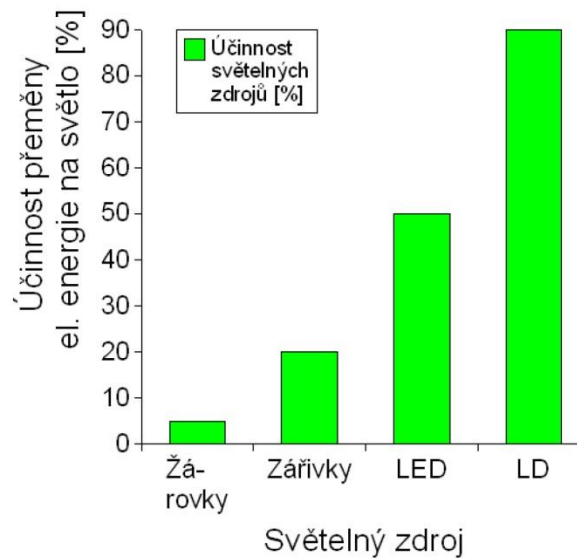
Vyrábějí se též diody se dvěma přechody PN, které svítí buď červeně, nebo zeleně (příp. žlutě) podle přiloženého napětí (pro červenou cca 1,5 V, pro zelenou cca 2 V).



Obr. 1.: a) schéma LED diody vyzařující z plochy (B-LED); b) příklad československé konstrukce Tesla. 1 – kovový kroužek; 2 – světlo; 3 – vyčerpaná oblast; 4 – světlo prochází vrstvou P; 5 – průhledné barevné pouzdro (plast); 6 – polovodičový krystal s přechodem PN; 7 – držák krystalu; 8 – kovové přívody



Obr. 2. Hranově vyzářující luminiscenční dioda (E-LED) s dvojitou heterostrukturou



Obr. 3. Porovnání účinnosti různých světelných zdrojů

Vlastnosti LED:

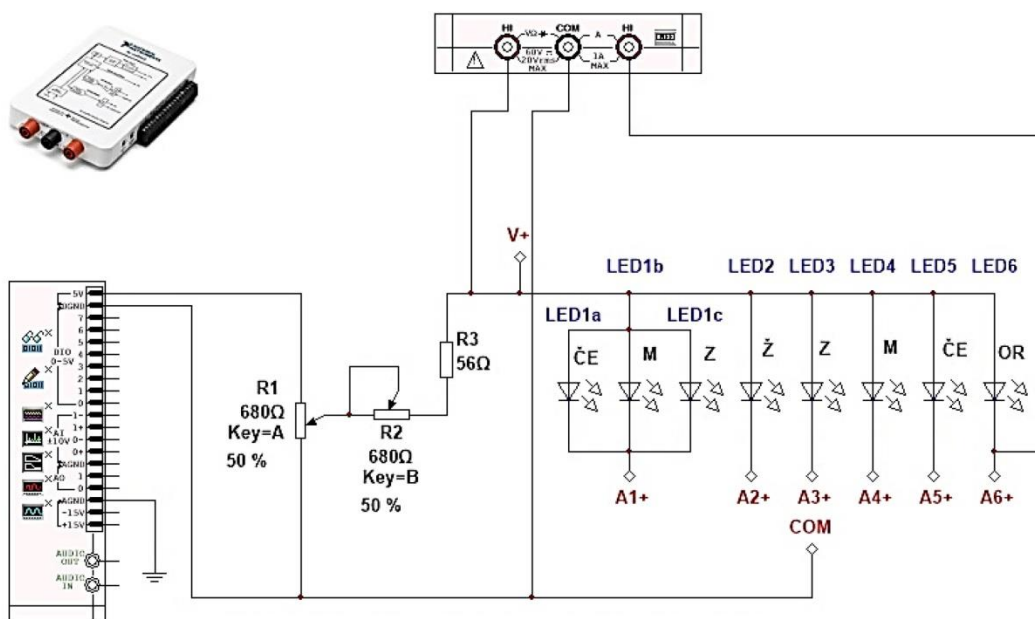
- životnost typicky 100 000 hodin oproti 1000 hodinám u žárovky;
- doba náběhu cca 10 ns;
- malé zahřívání;
- mechanicky málo choulostivé;
- pracovní proud několik desítek mA oproti stovkám mA u žárovek;
- neexistuje selhání LED (konec životnosti se projevuje sníženou svítivostí).

4. Postup měření

- 1) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- 2) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle příloženého schématu obvod pro měření V-A charakteristik svítivých diod.

- 3) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- 4) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Multimetr myDAQ připojíme k první svítivé diodě (svorky V+, A1+, COM). Regulací odporového trimru R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) v simulačním prostředí NI Multisim postupně nastavujeme podle tabulky proud I_F tekoucí svítivou diodou (měříme ampérmetrem mezi svorkami A1+, COM) a zjišťujeme úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě (měříme voltmetrem mezi svorkami V+, COM).
- 5) Měření z bodu 2 zopakujeme pro zbývající svítivé diody. Voltmetr zůstává trvale zapojen mezi svorkami V+, COM. Ampérmetr je zapojen mezi svorky A2+ až A6+ (podle měřené diody) a COM. Po odměření všech hodnot ukončíme simulaci.
- 6) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Spustíme on-line měření. Multimetr myDAQ připojíme k první svítivé diodě (svorky V+, A1+, COM). Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) na měřicím přípravku postupně nastavujeme podle tabulky proud I_F tekoucí diodou a myDAQ multimetrem zjišťujeme úbytky napětí $U_{F,skut}$ vznikající na diodě.
- 7) Měření z bodu 6 zopakujeme pro zbývající svítivé diody. Voltmetr zůstává trvale zapojen mezi svorkami V+, COM. Ampérmetr je zapojen mezi svorky A2+ až A6+ (podle měřené diody) a COM.
- 8) Všechny změřené hodnoty vyneseme do společných grafů – jeden graf pro závislosti $I_F = f(U_{F,sim})$, druhý graf pro závislosti $I_F = f(U_{F,skut})$. U všech diod určíme jejich prahová napětí U_{T0} . Simulované a reálné průběhy porovnáme a pokusíme se vysvětlit případné nesrovnalosti.
- 9) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



~ 4 ~

6. Seznam použitých přístrojů

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

7. Tabulky hodnot

LED1: bílá čirá, vysoce svítivá; svítivost 15 cd; max. anodový proud trvalý 25 mA; vyzařovací úhel 18 °; materiál p-n přechodu InGaN.

LED2: žlutá čirá, vysoce svítivá; svítivost 10 cd; max. anodový proud trvalý 25 mA; vyzařovací úhel 20 °; materiál p-n přechodu AlGaInP.

LED3: zelená čirá, vysoce svítivá; svítivost 12 cd; max. anodový proud trvalý 25 mA; vyzařovací úhel 20 °; materiál p-n přechodu InGaN.

LED4: modrá čirá, vysoce svítivá; svítivost 10 cd; max. anodový proud trvalý 25 mA; vyzařovací úhel 20 °; materiál p-n přechodu InGaN.

LED5: červená rozptylná, klasická; svítivost 50 mcd; max. anodový proud trvalý 20 mA; vyzařovací úhel 60 °; materiál p-n přechodu GaP.

LED6: oranžová rozptylná, klasická; svítivost 1 mcd; max. anodový proud trvalý 20 mA; vyzařovací úhel 60 °; materiál p-n přechodu GaAsP.

Dioda	Režim simulace												
	I_F [mA]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
LED1	U_F [V]												
LED2													
LED3													
LED4													
LED5													
LED6													

Dioda	Režim on-line měření												
	I_F [mA]	0	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
LED1	U_F [V]												
LED2													
LED3													
LED4													
LED5													
LED6													

Dioda	Prahová napětí U_{T0} [V]	
	Simulace	On-line měření
LED1		
LED2		
LED3		
LED4		
LED5		
LED6		

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do příloh vložte grafy závislosti $I_F = f(U_F)$ pro režim simulace (1. graf) a režim on-line měření (2. graf).

10. Závěr

Vysvětlete odlišné chování jednotlivých svítivých diod. Pokuste se objasnit případné nesrovnalosti mezi očekávaným a naměřeným průběhem volt-ampérových charakteristik.

Příloha VII: Protokol o měření č. M6

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení				
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR	třída:	ET3
kontroloval:		datum:	hodnocení:	
připomínky:		č. skupiny:	č. protokolu:	M6
		listů:	příloh:	
teplota:		tlak:		rel. vlhkost:
úloha: Měření výstupních V-A charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem typu P v zapojení se společnou zdrojovou elektrodou				
<u>1. Zadání</u>				
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku změřte výstupní (kolektorové) V-A charakteristiky unipolárního tranzistoru Tesla KF 522 pomocí osciloskopu a číslicového multimetru.</p> <ol style="list-style-type: none">1) V prostředí simulačního programu NI Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření výstupních V-A charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET. Místo tranzistoru KF 522 použijte model ideálního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem P.2) V režimu simulace regulací potenciometru R_1 nastavte podle přiložené tabulky napětí U_{GS} na řídicí elektrodě tranzistoru. Hodnotu napětí U_{GS} odečítejte na osciloskopu myDAQ.3) Regulací potenciometrů R_2 (hrubé nastavení) a R_3 (jemné nastavení) nastavujte podle přiložené tabulky hodnotu kolektorového napětí U_{DS} a odečítejte hodnotu kolektorového proudu $I_{D,sim}$. Odměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky.4) Zopakujte měření z bodů 2, 3 pro všechna zadaná napětí hradla U_{GS}.5) Měření podle bodů 2, 3, 4 proveďte v on-line režimu pomocí rozhraní NI myDAQ s připojeným měřicím přípravkem. Navíc určete strmost y_{21S} tranzistoru KF 522 pro napětí $U_{DS} = 10\text{ V}$ a proud $I_D = 10\text{ mA}$.6) Výstupní (kolektorové) charakteristiky unipolárního tranzistoru změřené v režimu simulace (ideální MOSFET) i on-line měření (MOSFET KF 522) vynesete do společného grafu. Popište, jak se odlišují charakteristiky ideálního modelu tranzistoru MOSFET a tranzistoru reálného.				
<u>2. Cíl měření</u>				
Prakticky si ověřit průběh výstupních volt-ampérových charakteristik unipolárního tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem typu P v zapojení se společnou zdrojovou elektrodou (zapojení SS). Naučit se měřit strmost tranzistoru.				

3. Teoretický rozbor

Unipolární tranzistory

Jsou to tranzistory řízené elektrickým polem. Toto příčné elektrické pole se vytvoří přivedením elektrického napětí mezi hradlo G (gate) a substrát Su (substrate). Tranzistory využívají nosičů elektrického náboje pouze jedné vodivosti.

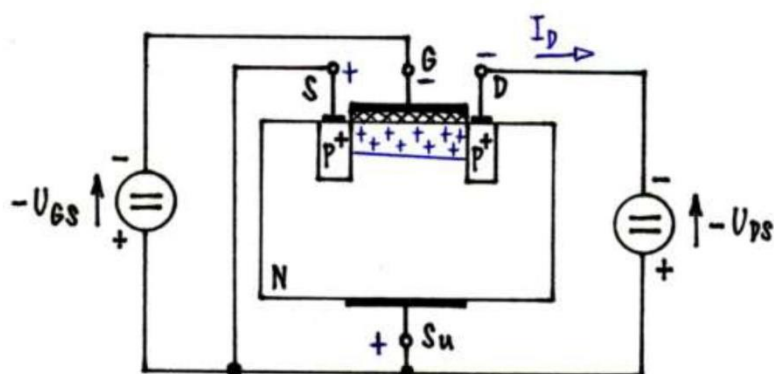
Podle způsobu připojení řídicí elektrody (hradla) G tyto tranzistory dělíme na:

- 1) tranzistory s hradlem odděleným PN přechodem (JFET);
- 2) tranzistory s hradlem odděleným izolační vrstvou (MISFET, MOSFET);
- 3) tranzistory s hradlem odděleným Schottkyho kontaktem (MESFET);
- 4) tranzistory s vysoce pohyblivými elektrony (HEMT).

MOSFET s indukovaným kanálem

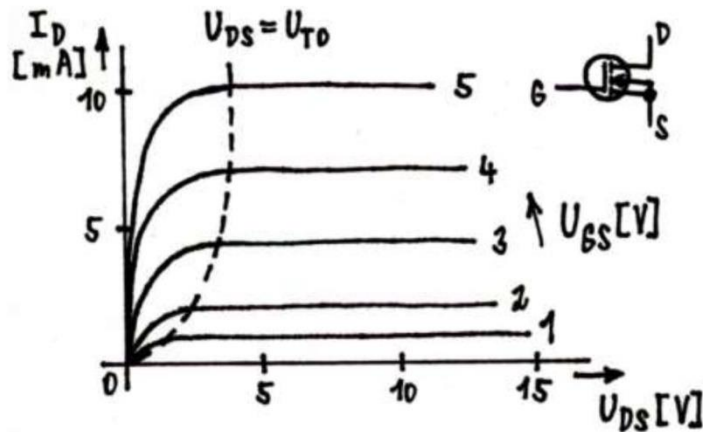
MOSFET ... Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor

MISFET ... Metal Insulation Field-Effect Transistor

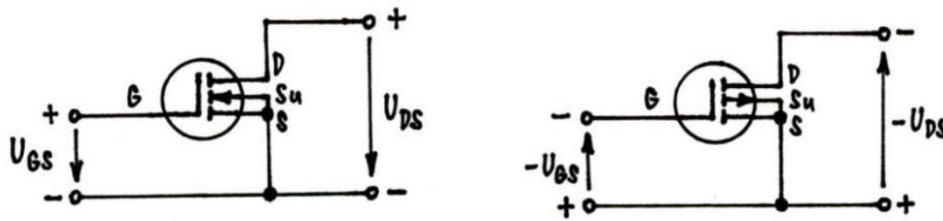


Princip tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem typu P

Hradlo je odděleno od základní destičky (zde typu N) vrstvičkou SiO_2 , která tvoří izolační vrstvu a současně dielektrikum kondenzátoru s elektrodami G a Su. Po připojení napětí U_{GS} záporným pólem na hradlo G a kladným pólem na substrát Su se mezi těmito elektrodami vytvoří příčné elektrické pole a pod vrstvičkou SiO_2 se v základní destičce indukuje kladný prostorový náboj, který mění její vodivost z typu N na typ P. Od tzv. prahového napětí U_{T0} vzniká mezi kolektorem D a emitorem S vodivý indukovaný kanál. Připojením napětí U_{DS} se uzavírá kanálem kolektorový proud I_D .



Příklad výstupních charakteristik tranzistoru MOSFET s indukovaným kanálem typu N



Polarizace napětí: vlevo MOSFET s indukovaným kanálem typu N, vpravo typu P

Ve výstupní charakteristice existují tři oblasti:

a) *Oblast nenasyčeného kanálu* $|U_{DS}| < |U_{GS} - U_{T0}|$

Vzniká lineární vodivý kanál. Proud kolektoru I_D se zvětšuje lineárně v závislosti na napětí U_{DS} . Tranzistor pracuje v triodové oblasti a chová se jako lineární odpor řízený napětím.

b) *Přechodná oblast* $|U_{DS}| \approx |U_{GS} - U_{T0}|$

Vodivý kanál se začíná nasycovat a přestává se již více otevírat. U kolektoru se začíná vytvářet oblast záporného prostorového náboje (u tranzistoru s kanálem P), která postupně uzavírá kanál.

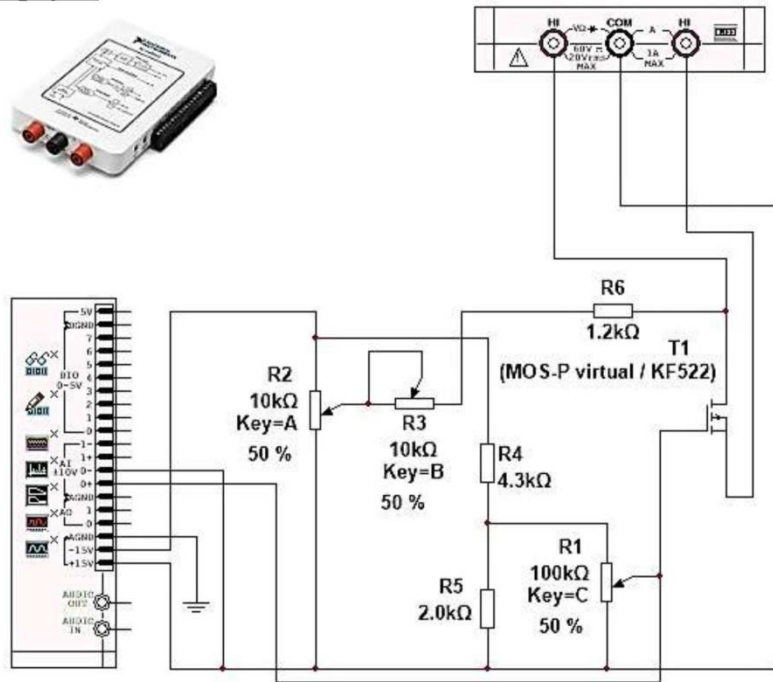
c) *Oblast nasyceného kanálu* $|U_{DS}| > |U_{GS} - U_{T0}|$

Zvětšováním napětí U_{DS} je vodivý kanál u kolektoru uzavřen, ale proud mezi emitorem a kolektorem vzniká pohybem částic, které jsou urychleny silným podélným elektrickým polem mezi kolektorem a emitorem. Tranzistor pracuje v pentodové oblasti a chová se jako zdroj proudu řízený napětím.

4. Postup měření

- 1) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- 2) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření unipolárního tranzistoru MOSFET.
- 3) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- 4) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Regulací potenciometru R_1 nastavíme napětí hradla tranzistoru $U_{GS} = -3$ V (napětí U_{GS} měříme pomocí osciloskopu).
- 5) Regulací potenciometrů R_2 (hrubé nastavení) a R_3 (jemné nastavení) nastavujeme hodnotu kolektorového napětí $U_{DS} = 0; -0,5; -1$ V; -2 V; ...; -10 V a odečítáme hodnotu kolektorového proudu $I_{D,sim}$ (obojí pomocí multimetru). Odměřené hodnoty zapisujeme do tabulky.
- 6) Měření z bodů 4, 5 zopakujeme pro napětí $U_{GS} = -4$ V, -5 V, -6 V, -7 V. Po odměření všech hodnot ukončíme simulaci.
- 7) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ. Spustíme on-line měření. Regulací odporového trimru R_1 nastavíme napětí hradla tranzistoru $U_{GS} = -3$ V (napětí U_{GS} měříme pomocí osciloskopu myDAQ).
- 8) Regulací odporových trimrů R_2 (hrubé nastavení) a R_3 (jemné nastavení) nastavujeme hodnotu kolektorového napětí $U_{DS} = 0; -0,5; -1$ V; -2 V; ...; -10 V a odečítáme hodnotu kolektorového proudu $I_{D,skut}$ (obojí pomocí multimetru myDAQ). Odměřené hodnoty zapisujeme do tabulky.
- 9) Regulací odporových trimrů R_1 , R_2 , R_3 nastavíme napětí $U_{DS} = 10$ V a proud $I_{D,skut} = 10$ mA. Dopočítáme hodnotu strmosti y_{21S} a porovnáme ji s katalogem.
- 10) Všechny změřené hodnoty vyneseme do společných grafů – jeden graf pro závislosti $I_{D,sim} = f(U_{DS})$, druhý graf pro závislosti $I_{D,skut} = f(U_{DS})$. Porovnáme měřený tranzistor KF 522 s tranzistorem virtuálním.
- 11) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s unipolárním tranzistorem MOSFET.

7. Tabulky hodnot

U_{GS} [V]	Režim simulace												
	U_{DS} [V]	0	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0
-3 V	I_D [mA]												
-4 V													
-5 V													
-6 V													
-7 V													

U_{GS} [V]	Režim simulace												
	U_{DS} [V]	0	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-9,0	-10,0
-3 V	I_D [mA]												
-4 V													
-5 V													
-6 V													
-7 V													

~ 5 ~

Změřená strmost tranzistoru Tesla KF 522:

$$y_{21S} = \frac{I_D}{U_{DS}} = \frac{\dots}{\dots} = \dots \text{ mS}$$

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

Do příloh vložte grafy závislosti $I_D = f(U_{DS})$ pro režim simulace (1. graf) a režim on-line měření (2. graf).

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se měření povedlo a zda naměřené volt-ampérové charakteristiky odpovídají teoretickým předpokladům. Zhodnoťte změřenou strmost tranzistoru.

Příloha VIII: Protokol o měření č. M7

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M7
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Bipolární tranzistor ve funkci zesilovače		
<p><u>1. Zadání</u></p> <p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku jednodupňového tranzistorového zesilovače s bipolárním tranzistorem Tesla KC 508 v zapojení se společným emitorem proveďte následující operace:</p> <p>1) <i>Návrh hodnot obvodových součástek zesilovače</i></p> <p>Podle postupu naznačeného v teoretickém rozboru proveďte zjednodušený stejnosměrný návrh hodnot obvodových součástek zesilovače (R_{B1}, R_{B2}, R_C) tak, aby byly splněny následující požadavky a předpoklady:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Zesilovač bude pracovat ve třídě A (tj. klidové napětí $U_{CE} = U_{CC}/2$). b) Napájecí napětí zesilovače $U_{CC} = 15$ V. c) Klidový kolektorový proud $I_C = 7,0$ mA. d) Příčný proud báze děličem $I_d = 10 \cdot I_B$. e) Předpokládaný proudový zesilovací činitel $\beta = 350$. f) Součástí návrhu nebude střídavý rozbor zesilovače a určení hodnot vazebních kondensátorů $C_{v,1}$, $C_{v,2}$, emitorového kondensátoru C_E a emitorového odporu R_E. <p>2) <i>Ověření správné činnosti zesilovače</i></p> <ol style="list-style-type: none"> a) V prostředí simulačního programu NI Multisim vytvořte podle předloženého schématu č. 1 obvod tranzistorového zesilovače. b) V režimu simulace regulací odporových trimrů R_{B1}, R_{B2}, R_C na pracovní ploše simulačního programu nastavte hodnoty proudů I_C, I_d a napětí U_{CE} zadané v bodě 1. Hodnoty odporů trimrů zapište do příslušné tabulky. c) Připojte měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu č. 1. d) V režimu on-line měření regulací odporových trimrů R_{B1}, R_{B2}, R_C na přípravku nastavte hodnoty proudů I_C, I_d a napětí U_{CE} vypočítané v bodě 1. e) V programu Multisim i na přípravku proveďte přepojení obvodu podle schématu č. 2. f) V režimu on-line měření proveďte ověření správné činnosti zesilovače pomocí sinusového generátoru a osciloskopu myDAQ. Případnou nesymetrii či deformaci výstupního napětí zesilovače upravte doregulováním trimrů R_{B1}, R_{B2}, R_C. g) Uložte oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí si vhodně zvolte. 		

3) Měření přenosové charakteristiky zesilovače

Pomocí Bodeho analyzátoru změřte přenosovou charakteristiku tranzistorového zesilovače v pásmu od 1 Hz do 20 kHz s deseti kroky na dekádu. Změřenou charakteristiku uložte do souboru a vložte ji jako přílohu k protokolu. Po skončení měření a rozebrání zapojení doměřte pomocí ohmmetru myDAQ na přípravku hodnoty odporů R_{B1} , R_{B2} , R_C a vysvětlete případné nesrovnalosti.

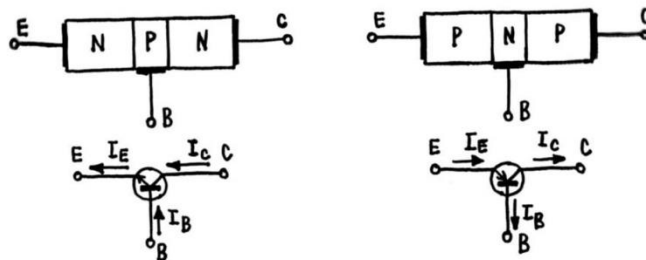
2. Cíl měření

Naučit se navrhovat a proměřovat tranzistorový zesilovací stupeň s bipolárním tranzistorem v zapojení se společným emitorem pro pracovní třídu A.

3. Teoretický rozbor

Podstata bipolárního tranzistoru

Bipolární tranzistor je zesilovací součástka (polovodičová trioda), u níž se na výsledném proudu podílejí jak elektrony, tak i díry. Má tři elektrody, a to emitor (zdrojovou elektrodu) E, kolektor (sběrací elektrodu) C a bázi (řídící elektrodu) B. Bipolární tranzistor je řízen proudově.



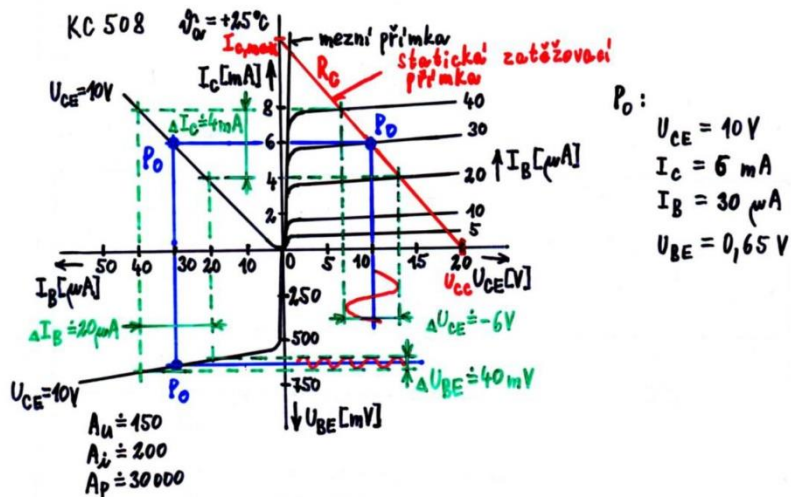
Obr. 1. Struktura bipolárního tranzistoru: vlevo tranzistor npn, vpravo pnp

Pro popis chování bipolárního tranzistoru se používají dva základní parametry:

- 1) proudový zesilovací činitel α ... $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{I_E - I_B}{I_E} = 1 - \frac{I_B}{I_E} < 1$;
- 2) proudový zesilovací činitel β ... $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \gg 1$.

Řešení nastavení pracovního bodu tranzistoru

Stejnoseměrné složce každé obvodové veličiny tranzistorového zesilovacího stupně odpovídá ve volt-ampérových charakteristikách tranzistoru jeden bod – tzv. pracovní bod P_0 . Poloha tohoto pracovního bodu má pro činnost zesilovače zásadní význam – určuje tzv. třídu zesilovače.



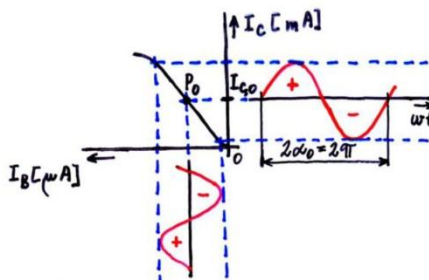
Obr. 2. Příklad V-A charakteristik bipolárního tranzistoru Tesla KC 508 v zapojení SE

Katalogové údaje tranzistoru Tesla KC 508:

$U_{CE,max} = 20 \text{ V}$; $U_{CB,max} = 20 \text{ V}$; $U_{EB,max} = 5 \text{ V}$; $I_{C,max} = 100 \text{ mA}$; $P_{C,max} = 300 \text{ mW}$;
 $\beta = h_{21e} = 125 \text{ až } 900$ ($U_{CB} = 5 \text{ V}$; $I_C = 2 \text{ mA}$, $f = 1 \text{ kHz}$); $f_T \geq 150 \text{ MHz}$; $F \leq 10 \text{ dB}$
($U_{CE} = 5 \text{ V}$; $I_C = 0,2 \text{ mA}$; $R_g = 2 \text{ k}\Omega$; $f = 1 \text{ kHz}$; $\Delta f = 200 \text{ Hz}$).

Zesilovací třída A

Klidový pracovní bod je nastaven do středu lineární části převodní charakteristiky tranzistoru.

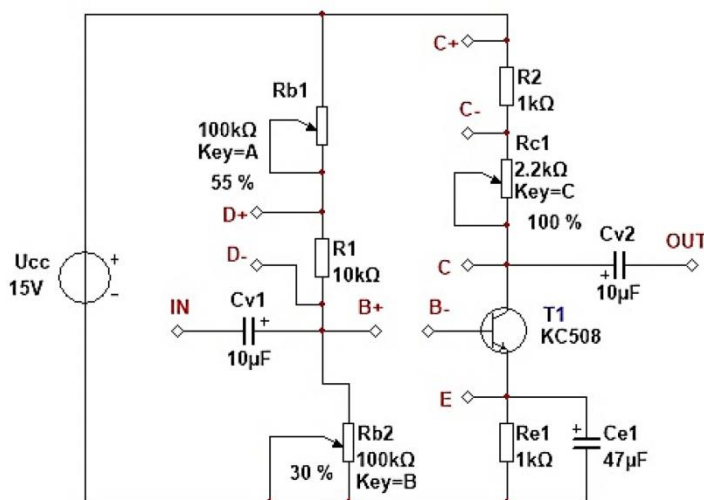


Obr. 3. Umístění klidového pracovního bodu na převodní charakteristice pro třídu A

Vlastnosti:

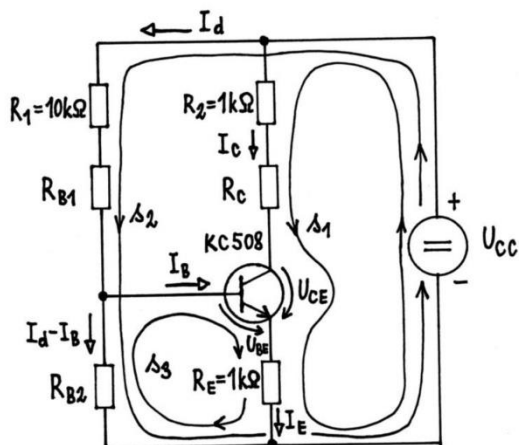
- + zesiluje obě polarity vstupního signálu;
- + nízké zkreslení signálu;
- z napájecího zdroje je trvale odebírán proud $I_{C,0}$;
- malá účinnost (cca 25 % u zesilovače s přímou vazbou, cca 50 % u zesilovače s transformátorovou vazbou).

Příklad výpočtu základních obvodových veličin (ss pracovní bod)



Obr. 4. Schéma měřeného přípravku

Při výpočtu vycházíme z níže uvedeného zjednodušeného náhradního schématu (obr. 5).



Obr. 5. Stejnoseměrné náhradní schéma měřeného zesilovače

Zadané hodnoty:

$U_{CC} = 12 \text{ V}$; $U_{CE} = U_{CC}/2 = 6 \text{ V}$; $I_C = 1 \text{ mA}$; $I_d = 10 \cdot I_B$; $\beta = 500$.

Hledané hodnoty:

R_{B1} , R_{B2} , R_C , I_B , I_d .

Výpočet:

1. Určení odporu R_C :

$$s_1: -U_{CC} + R_2 \cdot I_C + R_C \cdot I_C + U_{CE} + R_E \cdot I_E = 0$$

$$-U_{CC} + R_2 \cdot I_C + R_C \cdot I_C + \frac{U_{CC}}{2} + R_E \cdot (I_C + I_B) = 0$$

$$-\frac{U_{CC}}{2} + R_2 \cdot I_C + R_C \cdot I_C + R_E \cdot \left(\underbrace{I_C + \frac{I_C}{\beta}}_{\cong I_C} \right) = 0$$

$$-\frac{U_{CC}}{2} + R_2 \cdot I_C + R_C \cdot I_C + R_E \cdot I_C = 0$$

$$R_C \cdot I_C = \frac{U_{CC}}{2} - R_2 \cdot I_C - R_E \cdot I_C \quad /: I_C \neq 0$$

$$R_C = \frac{U_{CC}}{2 \cdot I_C} - R_2 - R_E$$

$$\boxed{R_C} = \frac{12}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} - 1000 - 1000 = 4000 \Omega = \boxed{4 \text{ k}\Omega}$$

2. Určení bázového proudu I_B :

$$\boxed{I_B} = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{500} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ A} = \boxed{2 \mu\text{A}}$$

3. Určení příčného proudu děličem I_d :

$$\boxed{I_d} = 10 \cdot I_B = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ A} = \boxed{20 \mu\text{A}}$$

4. Určení poměru bázových odporů R_{B1} , R_{B2} :

$$s_2: -U_{CC} + (R_1 + R_{B1}) \cdot I_d + R_{B2} \cdot \left(\underbrace{I_d - I_B}_{\cong I_d} \right) = 0$$

$$-U_{CC} + R_1 \cdot I_d + R_{B1} \cdot I_d + R_{B2} \cdot I_d = 0$$

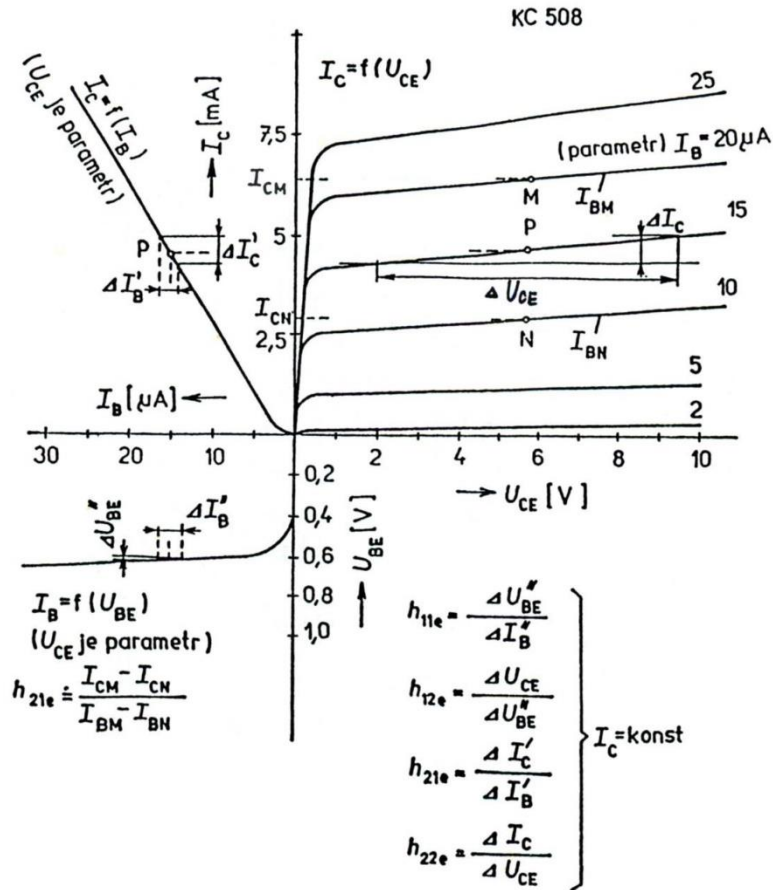
$$I_d \cdot (R_{B1} + R_{B2}) = U_{CC} - R_1 \cdot I_d \quad /: I_d \neq 0$$

$$R_{B1} + R_{B2} = \frac{U_{CC}}{I_d} - R_1$$

$$\boxed{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{12}{2 \cdot 10^{-5}} - 10000 = \boxed{590000}$$

5. Určení napětí U_{BE} bázového přechodu:

Toto napětí určíme graficky z níže uvedených charakteristik tranzistoru KC 508 (obr. 6). Z III. kvadrantu jsme pro proud $I_B = 2 \mu\text{A}$ odečetli hodnotu $U_{BE} = 0,50 \text{ V}$.



Obr. 6. Normované V-A charakteristiky tranzistoru Tesla KC 508 v zapojení se společným emitorem pro teplotu okolí $+20^\circ C$

6. Určení hodnot odporů R_{B1} , R_{B2} :

$$s_3: U_{BE} + R_E \cdot \underset{=I_C+I_B \cong I_C}{I_E} - R_{B2} \cdot \left(\underset{\cong I_d}{I_d} - I_B \right) = 0$$

$$U_{BE} + R_E \cdot I_C - R_{B2} \cdot I_d = 0$$

$$-R_{B2} \cdot I_d = -U_{BE} - R_E \cdot I_C \quad /: (-I_d)$$

$$R_{B2} = \frac{U_{BE} + R_E \cdot I_C}{I_d}$$

$$\boxed{R_{B2}} = \frac{0,50 + 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-5}} = 75000 \Omega = \boxed{75 \text{ k}\Omega}$$

$$R_{B1} + R_{B2} = 590000 \quad /-R_{B2}$$

$$\boxed{R_{B1}} = 590000 - R_{B2} = 590000 - 75000 = 515000 \Omega \cong \boxed{510 \text{ k}\Omega}$$

4. Postup měření

1) Návrh hodnot obvodových součástek zesilovače

V tomto bodě zadání neprovádíme praktické měření, ale podle postupu uvedeného v teoretickém rozboru vypočteme hodnoty odporů R_{B1} , R_{B2} , R_C a zapíšeme je do příslušného sloupce tabulky.

2) Ověření správné činnosti 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 č. 1 obvod jednodupňového tranzistorového zesilovače. Tranzistor Tesla KC 508 nahradíme zahraničním ekvivalentem BC 108.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. V režimu simulace regulací odporových trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C na pracovní ploše simulačního programu nastavíme proudy I_C , I_d a napětí U_{CE} na hodnoty vypočítané v bodě 1. Hodnoty odporů trimrů zapíšeme do příslušné tabulky. Ukončíme simulaci.
- e) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu č. 1. Spustíme on-line měření. V režimu on-line měření regulací odporových trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C na přípravku nastavíme proudy I_C , I_d a napětí U_{CE} na hodnoty vypočítané v bodě 1. Ukončíme on-line měření.
- f) V programu Multisim i na přípravku provedeme přepojení obvodu podle schématu č. 2.
- g) V režimu on-line měření ověříme správnou činnost zesilovače pomocí sinusového generátoru a osciloskopu myDAQ. Případnou nesymetrii či deformace výstupního napětí zesilovače upravíme doregulováním trimrů R_{B1} , R_{B2} , R_C .
- h) Uložíme oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí si vhodně zvolíme.

3) Měření přenosové charakteristiky

- a) Pomocí Bodeho analyzátoru změříme přenosovou charakteristiku tranzistorového zesilovače v pásmu od 1 Hz do 20 kHz s deseti kroky na dekádu. Změřenou charakteristiku uložíme do souboru a připojíme ji jako přílohu k protokolu. Po skončení měření a rozebrání zapojení doměříme pomocí ohmmetru myDAQ na přípravku hodnoty odporů R_{B1} , R_{B2} , R_C a vysvětlíme případné nesrovnalosti.
- b) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

Schéma č. 1 – nastavení obvodových veličin zesilovače

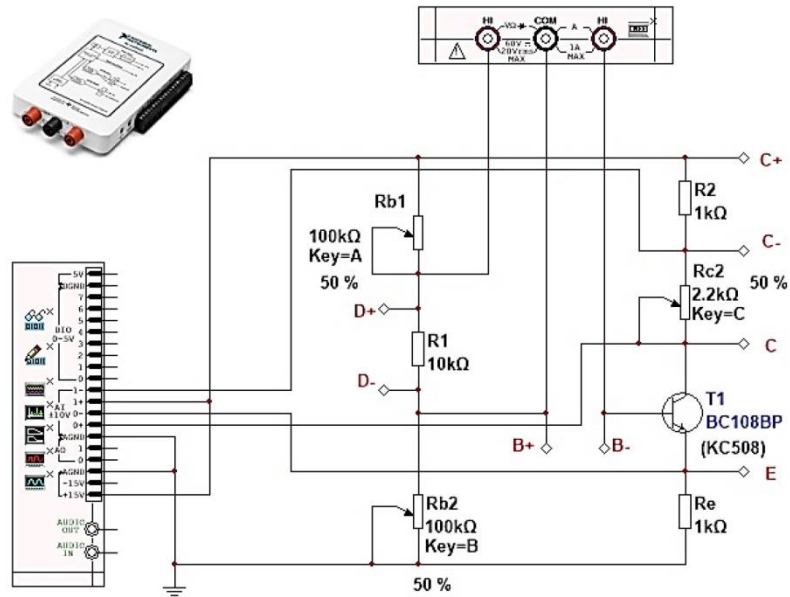
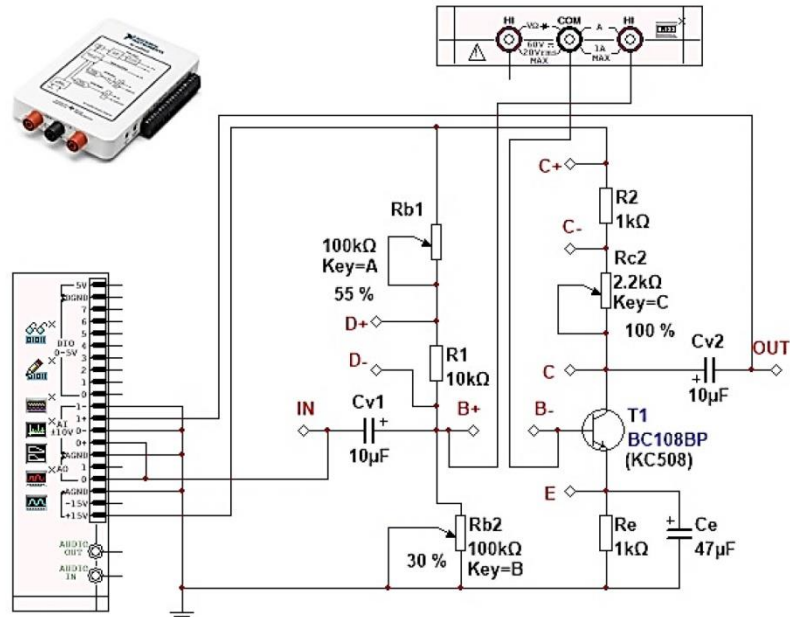


Schéma č. 2 – ověření činnosti zesilovače



6. Seznam použitých přístrojů

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

7. Tabulky hodnot

	Zadání/výpočet	Simulace	On-line měření
U_{CC} [V]	15,0		
U_{CE} [V]	7,5		
I_C [mA]	7,0		
β [-]	350		
I_B [μ A]			
I_d [μ A]			
R_{B1} [k Ω]			
R_{B2} [k Ω]			
R_C [k Ω]			

8. Příklad výpočtu

Do přílohy uveďte výpočet hodnot obvodových veličin a součástek z 1. bodu zadání. Tento výpočet můžete napsat ručně (není nutné psát v editoru rovnic na počítači).

9. Grafy hodnot

Jako přílohu přiložte k tomuto protokolu zaznamenanou přenosovou charakteristiku měřeného zesilovače (amplitudovou i fázovou přenosovou charakteristiku).

10. Závěr

Podářilo se vám zdárně navrhnout tranzistorový zesilovač? Kde vznikaly největší rozdíly mezi teoretickým výpočtem a praktickým měřením? Zhodnoťte měřený zesilovač z hlediska zisku a zesilovaného kmitočtového pásma.

Příloha IX: Protokol o měření č. M8

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M8
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Bipolární a unipolární tranzistor ve funkci spínače		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování bipolárního a unipolárního tranzistoru ve spínacím režimu činnosti.</p>		
<p>1) <i>Bipolární tranzistor jako spínač</i></p>		
<p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod elektronického spínače s bipolárním tranzistorem.</p>		
<p>b) V příloženém elektronickém katalogovém listu bipolárního tranzistoru n-p-n typu BC 337-25 zjistěte hodnotu stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,kat}$, saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$ a spínacího bázevého napětí $U_{BE,on,kat}$.</p>		
<p>c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B,off,sim}$, $I_{C,off,sim}$ při rozepnutém stavu a $I_{B,on,sim}$, $I_{C,on,sim}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$. Dopočítejte hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,sim}$; odporu kolektorového kanálu $R_{CE,off,sim}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE,on,sim}$ v sepnutém stavu spínače.</p>		
<p>d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s bipolárním tranzistorem z měřicího přípravku.</p>		
<p>e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě <i>1c</i>.</p>		
<p>f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete.</p>		
<p>g) Uložíme oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí volte 5 V (TTL signál).</p>		
<p>2) <i>Unipolární tranzistor jako spínač</i></p>		
<p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod elektronického spínače s unipolárním tranzistorem.</p>		
<p>b) V příloženém elektronickém katalogovém listu unipolárního tranzistoru HEX-FET typu IRFZ44N zjistěte hodnotu odporu kolektorového kanálu v sepnutém stavu $R_{DS,on,kat}$; zapínací dobu relé $t_{on,kat}$ a vypínací dobu relé $t_{off,kat}$.</p>		
<p>c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,sim}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,sim}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,sim}$; odpor kolektorového kanálu</p>		

$R_{DS,on,sim}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,sim}$ v rozeprnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,sim}$ a vypínací dobu $t_{off,sim}$ relé.

- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s unipolárním tranzistorem z měřicího přípravku.
- e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 2c.
- f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete.

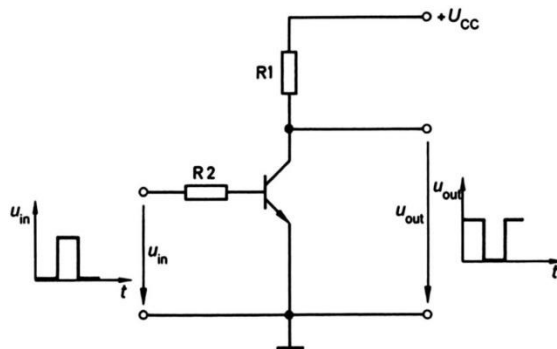
2. Cíl měření

Ověřit si chování bipolárního a unipolárního tranzistoru ve spínacím režimu.

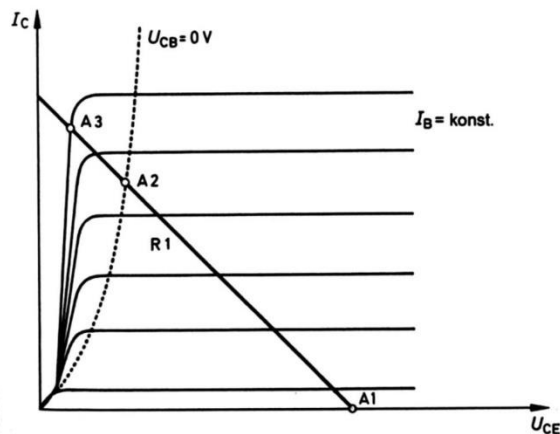
3. Teoretický rozbor

Bipolární tranzistor jako spínač

Ve spínacím zesilovači (elektronickém spínači) má tranzistor dva možné stavy, buď je „vodivý“, „sepnutý“, nebo „uzavřený“, „rozeprnutý“. Principiální zapojení spínacího zesilovače s bipolárním tranzistorem je uvedeno na obr. 1.



Obr. 1. Principiální zapojení spínacího zesilovače (elektronického spínače) s bipolárním tranzistorem



Obr. 2. Výstupní volt-ampérové charakteristiky spínacího zesilovače s bipolárním tranzistorem

Pokud je vstupní proud I_B nulový, je tranzistor uzavřený a neprotéká jím žádný proud a na kolektorovém rezistoru nevzniká žádný úbytek napětí, takže je výstupní napětí rovno napětí napájecímu $U_{OUT} \cong U_{CC}$. Na obr. 2 je tento pracovní bod ve výstupních charakteristikách tranzistoru označen jako A1.

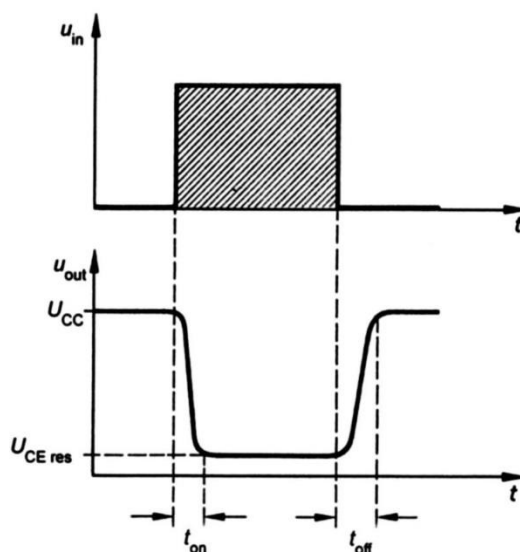
Druhý bod leží v oblasti nasycení, pro jejíž hranici platí $U_{CB} = 0$ V. Tato situace nastane v případě, že je zbytkové napětí tranzistoru stejně velké jako napětí přechodu B-E. V charakteristikách na obr. 2 leží pracovní bod A2 právě na hranici nasycení.

Pokud by měl mít tranzistor klidový pracovní bod v poloze A2, měl by ještě relativně velké zbytkové napětí $U_{CE,sat} \cong 0,7$ V a tudíž by měl poměrně velký ztrátový výkon P_C . Proto je vhodné tranzistor přebudit (tj. pracovní bod posunout do oblasti nasycení), čímž zbytkové napětí klesne. Jedná se vlastně o stav, kdy do báze teče větší proud, než jaký bychom potřebovali pro dosažení maximálního kolektorového proudu.

Čím je nasycení větší, tím více se pracovní bod po zatěžovací přímce posune od bodu A2 k bodu A3. Důsledkem je snížení zbytkového napětí kolektoru až k hodnotám kolem 0,1 V, čímž výrazně klesne ztrátový výkon tranzistoru v sepnutém stavu.

Tranzistory v elektronických spínačích pracují v oblasti nasycení běžně. Čím větší je nasycení, tím je kratší doba spínání t_{on} , kterou tranzistor potřebuje k přechodu z nevodivého do vodivého stavu. Důsledkem je však zvětšení doby vypínání t_{off} , poněvadž se při vypínání musí z báze odvést větší množství nosičů náboje. Musíme proto volit vhodný kompromis mezi přednostmi a nedostatky, které s sebou přebuzení přináší. V praxi se volí činitel nasycení (míra přebuzení) $s = 2$ až 10.

Elektronické spínače by měly spínat pokud možno rychle, přechod z jednoho do druhého pracovního bodu musí být co nejrychlejší (při pomalém přechodu prochází pracovní bod oblastí velkého ztrátového výkonu a tranzistor se zbytečně zahřívá). Budicí signál tranzistoru by měl mít proto pravoúhlý průběh. Tím i výstupní napětí tranzistoru bude téměř pravoúhlé, avšak bude fázově pootočené o 180° vůči vstupnímu napětí.



Obr. 3. Průběhy signálů u spínacího zesilovače ($U_{CE,res}$ je jiné označení pro napětí $U_{CE,sat}$)

Jako elektronický spínač může pracovat téměř každý typ tranzistoru. Musí však být schopen zpracovat rychlé změny vstupního signálu. Proto je účelné využívat speciálních spínacích tranzistorů, které mají obzvláště krátké spínací časy. Jedná se většinou o epitaxní tranzistory, které mají velmi malé odpory materiálů kolektoru a emitoru a mají proto velmi malá zbytková napětí. Tím je i jejich ztrátový výkon v sepnutém stavu menší.

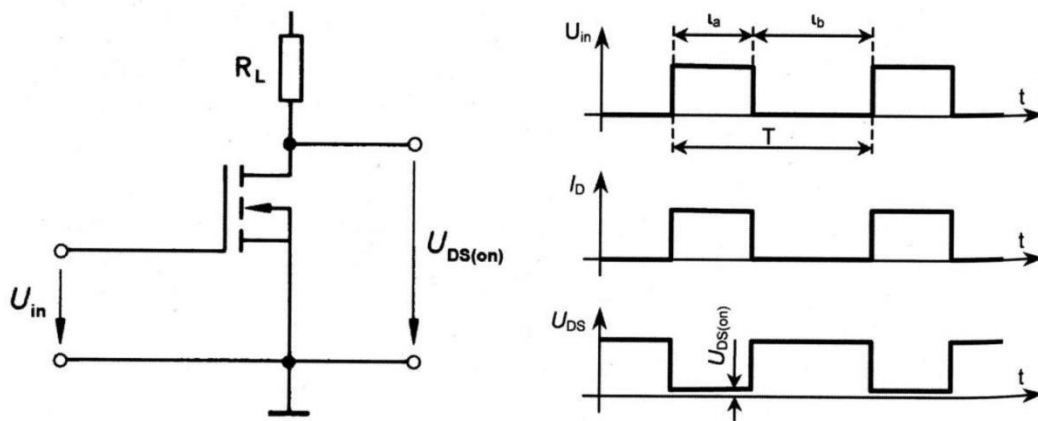
Unipolární tranzistor jako spínač

Výkonové obohacované tranzistory MOSFET se používají často jako elektronické spínače. Na rozdíl od relé spínají rychle a spolehlivě, nedochází u nich k jiskření na kontaktech a k mechanickému opotřebení. Speciální tranzistory HEXFET vykazují v sepnutém stavu velice nízký odpor, čímž se blíží vlastnostem mechanického kontaktu.

Unipolární tranzistory pracují jako spínače téměř výhradně v zapojení se společnou zdrojovou elektrodou (emitem) S (viz obr. 4). Spínaná zátěž je zapojena v obvodu sběrací elektrody (kolektoru) D. Spínač je řízen impulsním napětím, které má dvě stabilní hodnoty. Obohacovaný MOSFET/HEXFET s kanálem N při nulovém napětí U_{GS} nevede, jako spínač je ve vypnutém stavu. Pro sepnutí je třeba přivést na vstup dostatečně velké kladné napětí, aby se pracovní bod dostal co nejdále do ohmické oblasti. Na tranzistoru je nyní malé napětí $U_{DS,on}$. Odpor sepnutého kanálu je

$$R_{DS,on} = \frac{U_{DS,on}}{I_D}$$

U spínacích unipolárních tranzistorů je hodnota $R_{DS,on}$ uvedena v katalogu. Pomocí této hodnoty je možné vypočítat pro daný pracovní proud úbytek napětí na spínacím prvku a jeho výkonové zatížení.



Obr. 4. Zapojení tranzistoru MOSFET/HEXFET jako spínače: vlevo zapojení; vpravo průběhy při periodickém spínání

4. Postup měření

1) Měření bipolárního tranzistoru jako spínače

- 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 č. 1 obvod bipolárního spínače.
- c) V přiloženém elektronickém katalogovém listu bipolárního tranzistoru n-p-n typu BC 337-25 zjistíme hodnotu stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,kat}$, saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$ a spínacího bázevého napětí $U_{BE,on,kat}$.
- d) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- e) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Funkční generátor nastavíme na TTL výstup. V režimu simulace změříme pomocí číslicového multimetru a osciloskopu tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B,off,sim}$, $I_{C,off,sim}$ při rozepnutém stavu a $I_{B,on,sim}$, $I_{C,on,sim}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$. Ukončíme simulaci.
- f) Dopočítáme hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,sim}$; odporu kolektorového kanálu $R_{CE,off,sim}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE,on,sim}$ v sepnutém stavu spínače.
- g) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu č. 1. Spustíme on-line měření. Funkční generátor nastavíme na TTL výstup. V režimu on-line měření změříme pomocí číslicového multimetru a osciloskopu tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B,off,skut}$, $I_{C,off,skut}$ při rozepnutém stavu a $I_{B,on,skut}$, $I_{C,on,skut}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE,on,skut}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,skut}$.
- h) Dopočítáme hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,skut}$; odporu kolektorového kanálu $R_{CE,off,skut}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE,on,skut}$ v sepnutém stavu spínače.
- i) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- j) Uložíme oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí nastavíme 5 V (TTL signál). Ukončíme on-line měření.

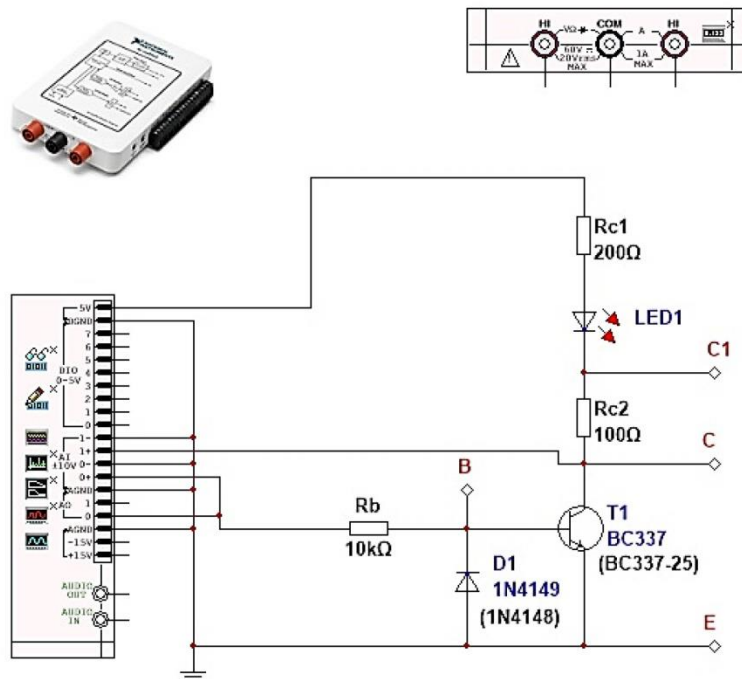
2) Měření unipolárního tranzistoru jako spínače

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu č. 2 obvod unipolárního spínače.
- b) V přiloženém elektronickém katalogovém listu unipolárního tranzistoru HEXFET typu IRFZ44N zjistíme hodnotu odporu kolektorového kanálu v sepnutém stavu $R_{DS,on,kat}$; zapínací dobu relé JZC-6F $t_{on,kat}$ a vypínací dobu relé $t_{off,kat}$.
- c) V režimu simulace odměříme na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,sim}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,sim}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,sim}$; odpor kolektorového kanálu $R_{DS,on,sim}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,sim}$ v rozepnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,sim}$ a vypínací dobu $t_{off,sim}$ relé.

- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s unipolárním tranzistorem z měřicího přípravku. Spustíme on-line režim.
- e) V on-line režimu odměříme na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,skut}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,skut}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,skut}$; odpor kolektorového kanálu $R_{DS,on,skut}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,skut}$ v rozepnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,skut}$ a vypínací dobu $t_{off,skut}$ relé.
- f) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- g) Uložíme oscilogramy napětí na vinutí relé a napětí na LED diodě pro kmitočet $f = 1$ Hz. Rozkmit vstupního napětí tranzistoru je 5 V (TTL signál).
- h) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

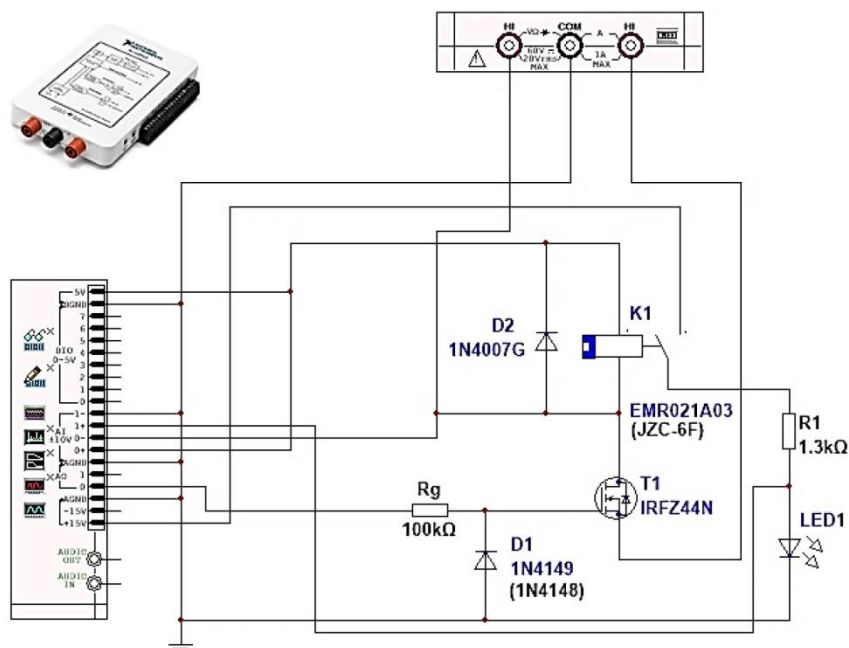
Schéma č. 1 – měření bipolárního spínače



~ 6 ~

~ 211 ~

Schéma č. 2 – měření unipolárního spínače



6. Seznam použitých přístrojů

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

7. Tabulky hodnot

1) Bipolární tranzistor jako spínač

	Katalog	Simulace	On-line měření
$I_{B,off}$ [μA]	----		
$I_{B,on}$ [μA]	----		
$I_{C,off}$ [μA]	----		
$I_{C,on}$ [mA]	----		
h_{21E} [-]			
$U_{BE,on}$ [mV]			
$U_{CE,off}$ [V]	----		
$U_{CE,sat}$ [mV]			
$R_{CE,off}$ [Ω]	----		
$R_{CE,on}$ [Ω]	----		

2) Unipolární tranzistor jako spínač

	Katalog	Simulace	On-line měření
$I_{D,off}$ [μA]	-----		
$I_{D,on}$ [mA]	-----		
$U_{DS,off}$ [V]	-----		
$U_{DS,sat}$ [mV]	-----		
$R_{DS,off}$ [Ω]	-----		
$R_{DS,on}$ [Ω]			
t_{on} [ms]			
t_{off} [ms]			

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtu.

9. Grafy hodnot

Jako přílohu přiložte k tomuto protokolu oscilogramy napět'ových průběhů u bipolárního a unipolárního elektronického spínače.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se vám měření povedlo a zda souhlasí naměřené hodnoty s katalogem a simulací. Nesrovnalosti se pokuste vysvětlit.

Příloha X: Protokol o měření č. M9

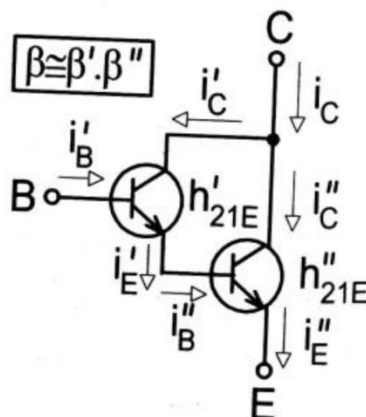
VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M9
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření stejnosměrných zesilovacích dvojic tranzistorů		
<p><u>1. Zadání</u></p> <p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování bipolárního a unipolárního tranzistoru ve spínacím režimu činnosti.</p> <p>1) <i>Darlingtonovo zapojení tranzistorů</i></p> <ol style="list-style-type: none"> a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod Darlingtonovy dvojice tranzistorů. b) V příloženém elektronickém katalogovém listu bipolárních tranzistorů BC 337-25, BD 139-16 zjistěte střední hodnoty stejnosměrných proudových zesilovacích činitelů $\beta_{1,kat}$, $\beta_{2,kat}$ a hodnotu saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$. Dopočítejte celkový proudový zesilovací činitel β_{kat}. c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: zapínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$; zapínací bázevé a kolektorové proudy $I_{B1,on,sim}$, $I_{C1,on,sim}$, $I_{C2,on,sim}$. Dopočítejte proudové zesilovací činitele $\beta_{1,sim}$, $\beta_{2,sim}$ a β_{sim}. d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod Darlingtonovy dvojice z měřicího přípravku. e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 1c. f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete. <p>2) <i>Sziklaiovo zapojení tranzistorů</i></p> <ol style="list-style-type: none"> a) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete. b) V příloženém elektronickém katalogovém listu bipolárních tranzistorů BC 337-25, BD 140-16 zjistěte střední hodnoty stejnosměrných proudových zesilovacích činitelů $\beta_{1,kat}$, $\beta_{2,kat}$ a hodnotu saturačního kolektorového napětí $U_{CE,sat,kat}$. Dopočítejte celkový proudový zesilovací činitel β_{kat}. c) V režimu simulace odměřte na obvodu elektronického spínače tyto parametry: zapínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$; zapínací proudy $I_{B1,on,sim}$, $I_{C1,on,sim}$, $I_{E2,on,sim}$. Dopočítejte proudové zesilovací činitele $\beta_{1,sim}$, $\beta_{2,sim}$ a β_{sim}. d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod Sziklaiovy dvojice z měřicího přípravku. e) V on-line režimu změřte a dopočítejte tytéž parametry jako v bodě 2c. f) Všechny příslušné hodnoty mezi sebou porovnejte a případné rozdíly vysvětlete. Vysvětlete rozdíly mezi Darlingtonovo a Sziklaiovo zapojením. 		

2. Cíl měření

Seznámit se s vlastnostmi a zapojením Darlingtonovy a Sziklaiovy dvojice tranzistorů. Naučit se měřit proudový zesilovací činitel tranzistoru.

3. Teoretický rozbor

Darlingtonovo zapojení tranzistorů



Jedná se o zapojení objevené v Bellových laboratořích r. 1953 Sidney Darlingtonem (patentováno zapojení se dvěma i třemi tranzistory – viz US patent 2 663 806 z 22. 12. 1953). Zapojíme-li dva tranzistory podle uvedeného obrázku, projevují se jako jeden tranzistor s velkým zesilovacím činitelem β . Proudový zesilovací činitel β je roven součinu zesilovacích činitelů jednotlivých tranzistorů

$$\beta \approx \beta' \cdot \beta'' ;$$

kde β' je proudový zesilovací činitel vstupního tranzistoru, β'' je zesilovací činitel výstupního tranzistoru. Obdobně lze psát:

$$h_{21E} \approx h'_{21E} \cdot h''_{21E} .$$

Velikost výsledného kolektorového proudu i_C lze určit ze vztahu:

$$i_C = \beta \cdot i'_B + I_{CE,0} .$$

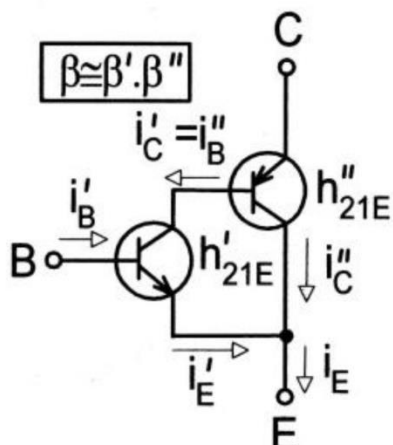
Výhodou Darlingtonova zapojení je skutečnost, že proudové zesílení nakrátko celého zapojení je dáno proudovým zesílením nakrátko jednotlivých tranzistorů, čímž se dosáhne současně velkého vstupního odporu a velké celkové strmosti.

Nevýhodou Darlingtonova zapojení je, že výsledné napětí mezi bází a emitorem U_{BE} je dáno součtem napětí mezi bází a emitorem obou tranzistorů, tj.:

$$U_{BE} = U_{BE,1} + U_{BE,2} .$$

~ 2 ~

Sziklaiovo zapojení



Podobné výsledky jako u Darlingtonova zapojení dostaneme, použijeme-li komplementární tranzistory, tedy kombinaci tranzistorů npn a pnp. Jedno z možných zapojení, uvedené na obrázku, popsal r. 1956 George Clifford Sziklai. Toto zapojení je známé též pod názvem „komplementární Darlington“. Výsledkem je opět třívývodové zapojení, se kterým je možné manipulovat jako s jedním tranzistorem s velmi vysokým proudovým zesílením.

Zapojení se chová jako tranzistor, který má shodnou polaritu elektrod se vstupním tranzistorem. Výsledný zesilovací činitel:

$$h_{21E} \approx h'_{21E} \cdot h''_{21E} \text{ a tedy } \beta \approx \beta' \cdot \beta'' .$$

Výhodou Sziklaiova zapojení oproti zapojení Darlingtonově je skutečnost, že výsledné napětí mezi bází a emitorem U_{BE} je dáno pouze bázovým napětím vstupního tranzistoru, tj.:

$$U_{BE} = U_{BE,1} .$$

4. Postup měření

1) Měření bipolárního tranzistoru jako spínače

- 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 příloženého schématu č. 1 obvod bipolárního spínače.
- c) V příloženém elektronickém katalogovém listu bipolárního tranzistoru n-p-n typu BC 337-25 zjistíme hodnotu stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E, \text{kat}}$, saturačního kolektorového napětí $U_{CE, \text{sat, kat}}$ a spínacího bázového napětí $U_{BE, \text{on, kat}}$.
- d) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.

- e) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Funkční generátor nastavíme na TTL výstup. V režimu simulace změříme pomocí číslicového multimetru a osciloskopu tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B,off,sim}$, $I_{C,off,sim}$ při rozepnutém stavu a $I_{B,on,sim}$, $I_{C,on,sim}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE,on,sim}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,sim}$. Ukončíme simulaci.
- f) Dopočítáme hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,sim}$; odpor kolektorového kanálu $R_{CE,off,sim}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE,on,sim}$ v sepnutém stavu spínače.
- g) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu č. 1. Spustíme on-line měření. Funkční generátor nastavíme na TTL výstup. V režimu on-line měření změříme pomocí číslicového multimetru a osciloskopu tyto parametry: bázevý a kolektorový proud tranzistoru $I_{B,off,skut}$, $I_{C,off,skut}$ při rozepnutém stavu a $I_{B,on,skut}$, $I_{C,on,skut}$ při sepnutém spínači; spínací bázevé napětí $U_{BE,on,skut}$; saturační kolektorové napětí $U_{CE,sat,skut}$.
- h) Dopočítáme hodnoty stejnosměrného proudového zesilovacího činitele $h_{21E,skut}$; odpor kolektorového kanálu $R_{CE,off,skut}$ v rozepnutém stavu a odporu $R_{CE,on,skut}$ v sepnutém stavu spínače.
- i) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- j) Uložíme oscilogramy vstupního a výstupního napětí zesilovače pro kmitočet $f = 1$ kHz. Rozkmit vstupního napětí nastavíme 5 V (TTL signál). Ukončíme on-line měření.
- 2) *Měření unipolárního tranzistoru jako spínače*
- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu č. 2 obvod unipolárního spínače.
- b) V přiloženém elektronickém katalogovém listu unipolárního tranzistoru HEXFET typu IRFZ44N zjistíme hodnotu odporu kolektorového kanálu v sepnutém stavu $R_{DS,on,kat}$; zapínací dobu relé JZC-6F $t_{on,kat}$ a vypínací dobu relé $t_{off,kat}$.
- c) V režimu simulace odměříme na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,sim}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,sim}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,sim}$; odpor kolektorového kanálu $R_{DS,on,sim}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,sim}$ v rozepnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,sim}$ a vypínací dobu $t_{off,sim}$ relé.
- d) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod spínače s unipolárním tranzistorem z měřicího přípravku. Spustíme on-line režim.
- e) V on-line režimu odměříme na obvodu elektronického spínače tyto parametry: proud kolektorem tranzistoru $I_{D,off,skut}$ v rozepnutém stavu a $I_{D,on,skut}$ v sepnutém stavu; saturační kolektorové napětí $U_{DS,sat,skut}$; odpor kolektorového kanálu $R_{DS,on,skut}$ v sepnutém stavu a odpor $R_{DS,off,skut}$ v rozepnutém stavu; zapínací dobu $t_{on,skut}$ a vypínací dobu $t_{off,skut}$ relé.
- f) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- g) Uložíme oscilogramy napětí na vinutí relé a napětí na LED diodě pro kmitočet $f = 1$ Hz. Rozkmit vstupního napětí tranzistoru je 5 V (TTL signál).
- h) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení

Schéma č. 1 – Darlingtonovo zapojení tranzistorů

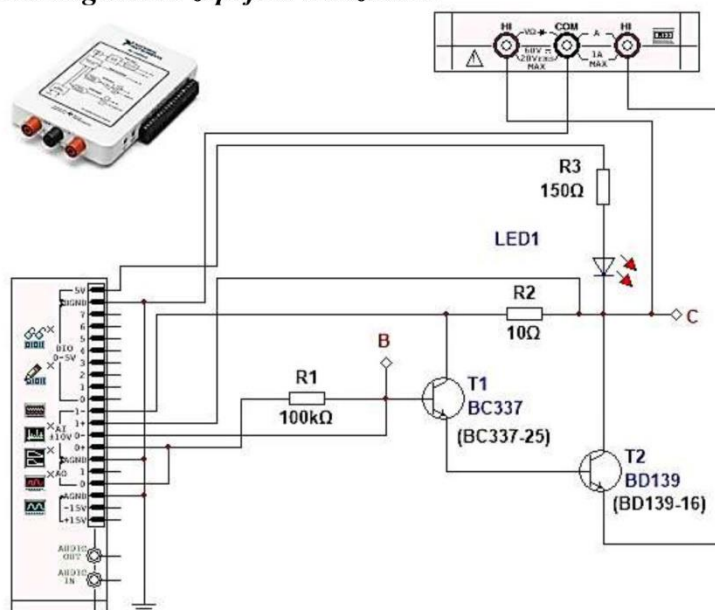
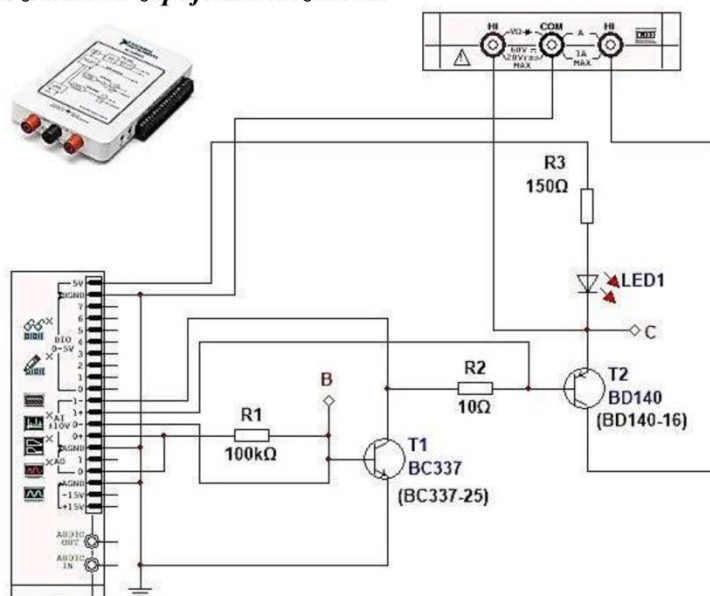


Schéma č. 2 – Sziklaiovo zapojení tranzistorů



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s Darlingtonovým a Sziklaiovým zapojením tranzistorů.

7. Tabulky hodnot

1) Měření Darlingtonova zapojení tranzistorů

	Katalog	Simulace	On-line měření
$I_{B,off}$ [μA]	-----		
$I_{B,on}$ [μA]	-----		
$I_{C,off}$ [μA]	-----		
$I_{C,on}$ [mA]	-----		
h_{21E} [-]			
$U_{BE,on}$ [mV]			
$U_{CE,off}$ [V]	-----		
$U_{CE,sat}$ [mV]			
$R_{CE,off}$ [Ω]	-----		
$R_{CE,on}$ [Ω]	-----		

2) Měření Sziklaiova zapojení tranzistorů

	Katalog	Simulace	On-line měření
$I_{D,off}$ [μA]	-----		
$I_{D,on}$ [mA]	-----		
$U_{DS,off}$ [V]	-----		
$U_{DS,sat}$ [mV]	-----		
$R_{DS,off}$ [Ω]	-----		
$R_{DS,on}$ [Ω]			
t_{on} [ms]			
t_{off} [ms]			

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtu.

9. Grafy hodnot

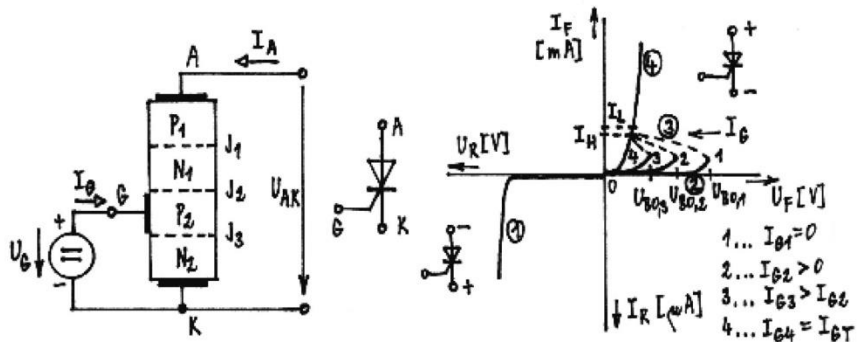
Jako přílohu přiložte k tomuto protokolu oscilogramy napěťových průběhů u bipolárního a unipolárního elektronického spínače.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se vám měření povedlo a zda souhlasí naměřené hodnoty s katalogem a simulací. Nesrovnalosti se pokuste vysvětlit.

Příloha XI: Protokol o měření č. M10

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR
kontroloval:		třída: ET3
připomínky:	č. skupiny:	hodnocení:
	listů:	č. protokolu: M10
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření základních parametrů tyristoru		
1. Zadání		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování triodového závěrně blokujícího tyristoru Tesla KT 110/200. Na předloženém přípravku proveďte následující měření:</p>		
<ol style="list-style-type: none">1) V režimu simulace a on-line měření určete stejnosměrné propustné napětí U_T tyristoru v sepnutém stavu. Zjistěte hodnotu přídržného proudu I_H a porovnejte ji s katalogem.2) V režimu simulace a on-line měření zjistěte hodnotu spínacího proudu řídicí elektrody I_{GT} a spínacího napětí řídicí elektrody U_{GT}. Tyto hodnoty porovnejte s katalogem.3) V režimu simulace a on-line měření určete průběh závislosti stejnosměrného propustného napětí U_T tyristoru na protékajícím anodovém proudu I_T v rozmezí od hodnoty I_H do hodnoty mezního anodového proudu daného zapojením s krokem 5 mA.		
2. Cíl měření		
<p>Seznámit se s triodovým tyristorem, dokázat změřit parametry tyristoru, ověřit si činnost tyristoru a naučit se jej ovládat.</p>		
3. Teoretický rozbor		
Princip tyristoru		
<p>Označení součástky tyristor vychází z anglického pojmenování <u>thyatron resistor</u> (překládá se obvykle jako polovodičový thyatron). Tyristor je řízená polovodičová dioda. Rozeznáváme tyristor diodový (zvaný též čtyřvrstvá dioda, Shockleyova dioda, dynistor) a tyristor triodový (zkráceně tyristor).</p>		
1) Triodový tyristor		
<p>Je tvořen čtyřvrstvou strukturou PNPN nebo NPNP s třemi přechody J_1, J_2, J_3 a se třemi vývody – anodou A, katodou K a řídicí elektrodou (hradlem) G.</p>		



Obr. 1. Struktura, schématická značka a průběh volt-ampérové charakteristiky triodového tyristoru PNPN

V závěrné oblasti 1 se tyristor chová jako zavřená dioda, přechody J_1, J_3 jsou polarizovány v závěrném směru a tyristorem prochází velmi malý závěrný proud I_R (reverse current).

V blokovací oblasti 2 je tyristor polarizován v propustném směru, ale je zablokován zavřeným přechodem J_2 . Odpor mezi anodou a katodou je několik megaohmů a anodový proud je téměř nulový.

V oblasti záporného dynamického odporu 3 se tyristor chová tak, že zvýší-li se napětí U_{AK} na hodnotu spínacího (zápalného) napětí U_{BO} (break-over voltage) dojde k nedestruktivnímu průrazu přechodu J_2 , odpor v oblasti přechodu J_2 se velmi zmenší a anodový proud velmi vzroste. Zmenšení odporu tyristoru je tak značné (na desetiny až setiny ohmu, tj. o 7 až 8 řádů), že přestože stoupl anodový proud, zmenšilo se napětí mezi anodou a katodou na cca 1,5 až 2 V.

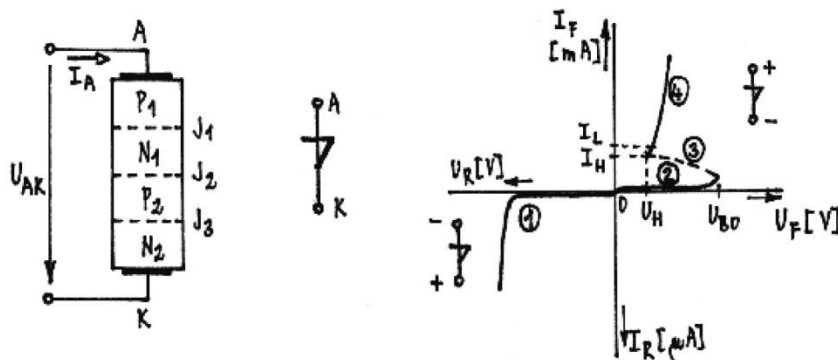
Ionizace krystalové mřížky, tj. sepnutí tyristoru, může nastat již při nižším napětí mezi anodou a katodou než je napětí U_{BO} . Stačí, přivedeme-li do oblasti zavřeného přechodu J_2 volné nosiče náboje proudem zavedeným do řídicí elektrody (hradla) G. Velikostí řídicího proudu I_G (gate current) můžeme ovládat hodnotu spínacího napětí U_{BO} . Bude-li proud I_G roven zapínacímu řídicímu proudu I_{GT} (gate turn current), přechází tyristor při zvětšování napětí U_{AK} plynule do vodivého stavu, tj. ve volt-ampérové charakteristice chybí oblast 2 a 3.

Udržení tyristoru v sepnutém stavu je podmíněno protečením dostatečně vysokého anodového proudu I_A pro trvalé uzavření kladné zpětné vazby. Minimální hodnota tohoto proudu, při níž zůstane tyristor sepnut i po zániku řídicího proudu I_G bezprostředně po přechodu z blokovacího stavu, se nazývá přídržný proud I_L (latching current). Pokud je již tyristor delší dobu sepnut, pak minimální anodový proud potřebný k udržení tyristoru v sepnutém stavu nazýváme vratný proud I_H (holding current). Proud I_H je o něco menší než I_L . To znamená, že v okamžiku spínání je pro udržení tyristoru v sepnutém stavu potřeba nechat protéci tyristorem o něco větší anodový proud než je tomu v případě, kdy je tyristor již spolehlivě sepnut. K uvedené hysterese dochází z důvodu ztrát při spínání.

V oblasti sepnutí 4 se tyristor chová jako otevřená plošná dioda.

2) Diodový tyristor (dynistor, čtyřvrstvá dioda, Shockleyova dioda)

Označení součástky dynistor vychází z anglického pojmenování dynatron resistor (překládá se obvykle jako polovodičový dynatron). Jedná se v principu o triodový tyristor bez možnosti dodatečného ovládní řídicího proudu I_G . Tato součástka není příliš využívána, bývá nahrazována zapojením s diakem.



Obr. 2. Struktura, schématická značka a průběh volt-ampérové charakteristiky dynistoru

Základní měření tyristorů a triaků

Měření základních veličin tyristorů a triaků se provádí podle těchto norem:
ČSN 35 8770 Měření stejnosměrného propustného napětí U_T ;
ČSN 35 8771 Měření spínacího proudu I_{GT} a spínacího napětí U_{GT} řídicí elektrody;
ČSN 35 8772 Měření přídržného proudu I_H ;
ČSN 35 8773 Měření blokovacího proudu I_D a závěrného proudu I_R triodových tyristorů;
ČSN 35 8758 Měření tepelného odporu.

Tyristor Tesla KT 110/200

Součástka Tesla KT 110/200 je triodový závěrně blokující tyristor PNPN určený především pro použití v síťových napájecích zdrojích v televizních přijímačích pro barevný příjem. Obvod je zapouzdřen v kovovém pouzdře TO-66 se dvěma kolíkovými vývody ve skleněných průchodkách. Anoda je vodivě spojena s pouzdrem.

Základní technické údaje:

- propustný proud střední ... $I_{TAV} = 3,2 \text{ A}$;
- propustný proud vrcholový opakovatelný ... $I_{TRM} = 30 \text{ A}$;
- propustný proud vrcholový neopakovatelný ($t = 10 \text{ ms}$, proudový impuls púlsinového tvaru) ... $I_{TSM} = 50 \text{ A}$;
- max. přípustné opakovatelné blokovací napětí vrcholové ... $U_{DRM} = 200 \text{ V}$;
- max. přípustné opakovatelné závěrné napětí vrcholové ... $U_{RRM} = 200 \text{ V}$;
- ztrátový výkon hradla vrcholový ($t \leq 10 \mu\text{s}$) ... $P_{GM} = 25 \text{ W}$;
- kritická strmost nárůstu blokovacího napětí ($\vartheta_j = 100^\circ\text{C}$, $U_{DM} = 140 \text{ V}$) ...
... $(dU_D/dt)_{krit} \geq 200 \text{ V}/\mu\text{s}$;

- kritická strmost nárůstu propustného proudu ($I_{TM} = 50 \text{ A}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\vartheta_c = 25^\circ\text{C}$, $t_{ip} < 1 \text{ ms}$) ... $(dI/dt)_{krit} \geq 200 \text{ A}/\mu\text{s}$;
- vypínací doba (při vypínání z $I_T = 3 \text{ A}$ na $U_R \geq 1 \text{ V}$, $-dI_T/dt = 4 \text{ A}/\mu\text{s}$, $dU_D/dt = 100 \text{ V}/\mu\text{s}$) ... $t_q \leq 40 \mu\text{s}$;
- blokovací proud stejnosměrný ($\vartheta_j = 125^\circ\text{C}$, $U_{DM} = 200 \text{ V}$) ... $I_D \leq 1,5 \text{ mA}$;
- závěrný proud stejnosměrný ($\vartheta_j = 125^\circ\text{C}$, $U_{RM} = 200 \text{ V}$) ... $I_R \leq 1,5 \text{ mA}$;
- propustné napětí stejnosměrné ($I_T = 30 \text{ A}$, $\vartheta_c = 25^\circ\text{C}$, $f_{ip} = 50 \text{ Hz}$, $t_{ip} = 1 \text{ ms}$, doba měření max. 3 s) ... $U_T = \text{nom. } 2,2 \text{ V}/\text{max. } 3,0 \text{ V}$;
- spínací proud hradla ($U_D = 12 \text{ V}$, $\vartheta_c = 25^\circ\text{C}$) ... $I_{GT} = \text{nom. } 15 \text{ mA}/\text{max. } 40 \text{ mA}$;
- spínací napětí hradla ($U_D = 12 \text{ V}$, $\vartheta_c = 25^\circ\text{C}$) ... $U_{GT} = \text{nom. } 1,8 \text{ V}/\text{max. } 4 \text{ V}$;
- přídržný proud stejnosměrný ($\vartheta_c = 25^\circ\text{C}$, $I_T = 0,2 \text{ A}$ /počáteční hodnota/, při měření hradlo odpojeno) ... $I_H \leq 50 \text{ mA}$

4. Postup měření

1) Měření stejnosměrného propustného napětí U_T a přídržného proudu I_H

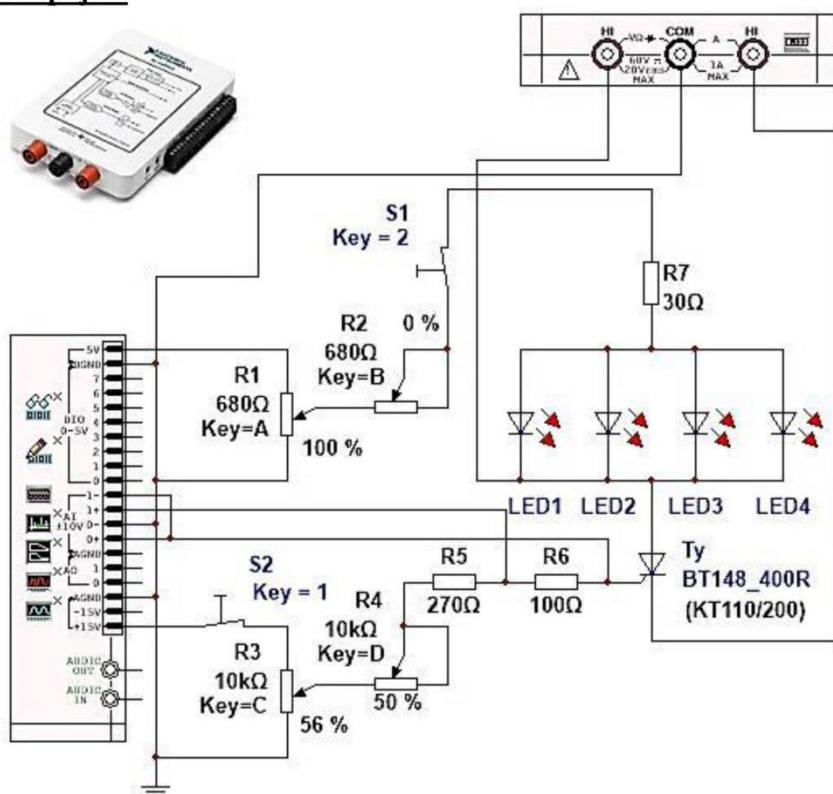
- a) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- b) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod tyristorového spínače. Místo tyristoru Tesla KT 110/200 použijeme náhradní tyristor BT 148/400R.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přeprnuté do režimu simulace.
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Sepneme spínač S_1 , spínač S_2 rozepneme. Regulací potenciometrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) nastavíme maximální hodnotu anodového napětí (měříme pomocí voltmetru).
- e) Sepneme spínač S_2 . Regulací potenciometrů R_3 (hrubé nastavení) a R_4 (jemné nastavení) sepne tyristor. Sepnutý stav nám indikují LED diody a nárůst anodového proudu tekoucího tyristorem (měříme ampérmetrem).
- f) V sepnutém stavu tyristoru změříme pomocí voltmetru hodnotu stejnosměrného propustného napětí U_T a zaznamenáme ji do tabulky.
- g) Rozepnutím spínače S_2 odpojíme řídicí elektrodu tyristoru od zdroje napětí.
- h) Regulací potenciometrů R_1 a R_2 pomalu a plynule snižujeme anodový proud I_T tekoucí tyristorem (měříme ampérmetrem). Hodnota anodového proudu v okamžiku těsně před tím, než tyristor vypne, je hodnota přídržného proudu I_H . Tuto hodnotu si zaznamenáme. Ukončíme simulaci.
- i) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu. Spustíme on-line měření. Měření podle bodů $1d$ až $1h$ provedeme v on-line režimu. Všechny hodnoty zaznamenáme do tabulky. Ukončíme on-line režim.
- j) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.

2) Měření spínacího proudu I_{GT} a napětí U_{GT} řídicí elektrody

- a) Zapneme režim simulace. Rozepneme spínač S_1 , spínač S_2 sepne. Regulací potenciometrů R_3 a R_4 nastavíme nulové napětí řídicí elektrody U_G (měříme osciloskopem).

- b) Sepneme spínač S_1 . Regulací potenciometrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) nastavíme maximální hodnotu anodového napětí (měříme pomocí voltmetru).
 - c) Regulací potenciometrů R_3 (hrubě) a R_4 (jemně) pomalu a plynule zvyšujeme proud řídicí elektrody tyristoru (sledujeme na osciloskopu) až do okamžiku sepnutí tyristoru (poznáme podle rozsvícení LED diod a skokového nárůstu anodového proudu). Proud I_G a napětí U_G řídicí elektrody tyristoru, při kterém dojde k jeho sepnutí, je spínací proud a napětí řídicí elektrody $I_{GT,sim}$ a $U_{GT,sim}$. Tyto hodnoty si zaznamenáme. Po odměření ukončíme simulaci.
 - d) V on-line režimu odměříme podle postupu uvedeného v bodech 2a až 2c hodnoty spínacího napětí $U_{GT,skut}$ a proudu $I_{GT,skut}$. Tyto hodnoty zaznamenáme. Ukončíme on-line režim.
 - e) Simulované, reálné a katalogové hodnoty porovnáme a vysvětlíme jejich rozdíly.
- 3) Měření závislosti ss propustného napětí U_T na anodovém proudu I_T**
- a) Spustíme režim simulace. Spínač S_1 rozepneme, S_2 sepneme. Regulací potenciometrů R_3 (hrubě) a R_4 (jemně) nastavíme hodnotu řídicího proudu I_G a napětí U_G na hodnoty, kdy tyristor spolehlivě sepne (minimálně na hodnoty I_{GT} a U_{GT}).
 - b) Sepneme spínač S_1 . Regulací potenciometrů R_1 (hrubě) a R_2 (jemně) nastavíme maximální hodnotu anodového proudu $I_{T,sim,max}$ (měříme ampérmetrem).
 - c) Pro anodový proud $I_{T,sim,max}$ odečteme na voltmetru hodnotu propustného napětí $U_{T,sim}$. Obě hodnoty zaznamenáme do tabulky.
 - d) Regulací potenciometrů R_1 a R_2 postupně nastavujeme anodový proud $I_{T,sim}$ na hodnoty podle tabulky a odečítáme příslušná propustná napětí $U_{T,sim}$. Vše zaznamenáváme do tabulky. Po odměření ukončíme režim simulace.
 - e) V on-line režimu odměříme podle postupu uvedeného v bodech 3a až 3d závislost propustného napětí $U_{T,skut}$ na anodovém proudu $I_{T,skut}$.
 - f) Odpovídající simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
 - 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



6. Seznam použitých přístrojů

- měřící rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřící přípravek s tyristorem.

7. Tabulky hodnot

1) Měření ss propustného napětí U_T a přídržného proudu I_H

	Katalog (KT 110/200)	Simulace (BT 148/400R)	On-line měření (KT 110/200)
U_T [V]			
I_H [mA]			

2) Měření spínacího proudu I_{GT} a napětí U_{GT} řídicí elektrody

	Katalog (KT 110/200)	Simulace (BT 148/400R)	On-line měření (KT 110/200)
U_{GT} [V]			
I_{GT} [mA]			

3) Měření závislosti ss propustného napětí U_T na anodovém proudu I_T

Režim simulace (BT 148/400R)	I_T [mA]	$I_{H,sim}$	55	60	65	70	75	80	$I_{H,sim,max}$
	U_T [V]								
On-line režim (KT 110/200)	I_T [mA]	$I_{H,skut}$	55	60	65	70	75	80	$I_{H,skut,max}$
	U_T [V]								

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtu.

9. Grafy hodnot

Do protokolu vložte grafy závislosti $U_T = f(I_T)$ pro simulovaný a reálný tyristor.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak se měření povedlo a zda naměřené parametry tyristoru Tesla KT 110/200 odpovídají údajům výrobce. Porovnejte simulovaný a reálný tyristor.

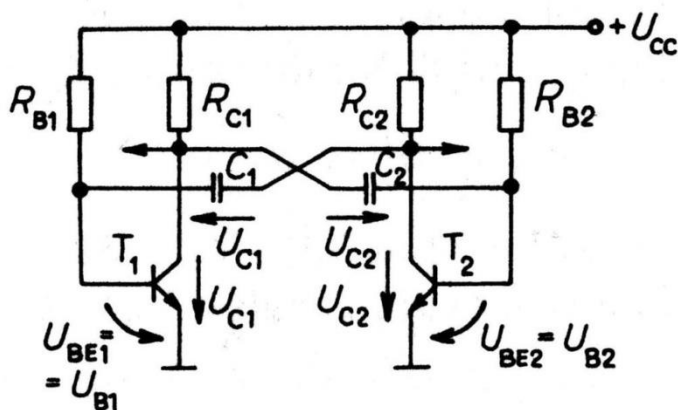
Příloha XII: Protokol o měření č. M11

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení			
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR	třída: ET3
kontroloval:		datum:	hodnocení:
připomínky:		č. skupiny:	č. protokolu: M11
		listů:	příloh:
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:	
úloha: Astabilní multivibrátor s bipolárními tranzistory			
<u>1. Zadání</u>			
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování souměrného astabilního multivibrátoru s bipolárními npn tranzistory typu BC 337-25. Úkoly:</p>			
1) Proveďte výpočet hodnot obvodových součástí souměrného astabilního multivibrátoru s následujícím zadáním:			
a) napájecí napětí multivibrátoru $U_{CC} = 5 \text{ V}$;			
b) kmitočet výstupních impulsů $f = 1 \text{ kHz}$;			
c) střída výstupního obdélníkového signálu $\delta = 50 \%$;			
d) saturační kolektorový proud tranzistorů $I_{C,sat} = 20 \text{ mA}$;			
e) použité tranzistory BC 337-25;			
f) hodnoty minimálního proudového zesílení $h_{21E,min} = \beta_{min}$ a saturačních napětí $U_{BE,sat}$, $U_{CE,sat}$ si dohledejte v elektronickém katalogu v příloze protokolu.			
2) V režimu simulace nakreslete navržený obvod a proveďte odměření následujících parametrů:			
a) dobu jedné periody T ;			
b) kmitočet výstupních impulsů f ;			
c) střídu výstupního obdélníkového signálu δ .			
3) V režimu on-line měření proveďte odměření stejných parametrů jako v předešlém bodě. Porovnejte simulované a reálné hodnoty a případné rozdíly vysvětlete.			
4) Pomocí dvoukanalového osciloskopu zaznamenejte průběhy napětí přímého a invertovaného výstupního kanálu multivibrátoru.			
<u>2. Cíl měření</u>			
Seznámit se s postupem návrhu souměrného astabilního multivibrátoru s bipolárními tranzistory. Dokázat změřit parametry multivibrátoru.			

3. Teoretický rozbor

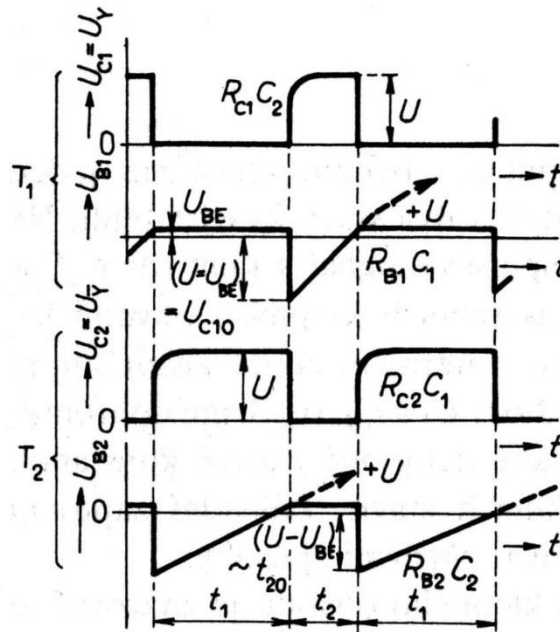
Astabilní klopné obvody

Astabilní klopný obvod (astabilní multivibrátor) je samokmitající obvod, který má oba výstupní stavy (stav vysoké úrovně H, stav nízké úrovně L) kvazistabilní. Na jeho výstupech získáváme periodický impulsní signál s kmitočtem f a délkou impulsů T_i . Zapojení různých astabilních klopných obvodů lze charakterizovat takto: Mezi dvěma stejnosměrnými zesilovacími stupni jsou dvě střídavé vazby tvořené kondensátory C_1 a C_2 realizujícími dohromady kladnou zpětnou vazbu. Tím jsou také dány dvě časové konstanty, které vymezují doby t_1 a t_2 kvazistabilních stavů. Nejjednodušší zapojení je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1. Astabilní klopný obvod (astabilní multivibrátor)

Princip činnosti: Stejnoseměrné stupně jsou tvořeny tranzistory T_1 a T_2 . Předpokládejme, že na začátku je tranzistor T_1 otevřen a T_2 zavřen. Na začátku doby t_1 se kondensátor C_1 nabije přes kolektorový odpor R_{C2} a přes otevřený přechod B-E tranzistoru T_1 na napětí $U_{C10} \cong U_{CC} - U_{BE1} > 0$ s časovou konstantou $R_{C2}C_1$. V okamžiku otevření tranzistoru T_2 je kondensátor C_1 připojen záporným pólem k bázi tranzistoru T_1 . Kladný pól je uzemněn přes otevřený tranzistor T_2 . Tranzistor T_1 se tedy uzavře, což trvá po dobu t_2 , kdy $U_{BE1} \cong 0$. Báze totiž sleduje vybíjení kondensátoru C_1 přes napětí U_{CC} , rezistor R_{B1} , kondensátor C_1 a otevřený přechod C-E tranzistoru T_2 . Příslušná časová konstanta je $R_{B1}C_1$. V této době se nabije kondensátor C_2 a na základě otevření tranzistoru T_1 je připraven blokovat tranzistor T_2 . K tomu dochází cca při $u_{C1} = 0$, kdy se otevírá tranzistor T_1 a děj se opakuje obdobně pro kondensátor C_2 a tranzistor T_2 . Časové průběhy příslušných napětí jsou na obr. 2.



Obr. 2. Časové průběhy astabilního multivibrátoru

Ve většině zapojení tohoto druhu se volí odpory $R_{C1} = R_{C2}$, $R_{B1} = R_{B2}$; potom jde o souměrný astabilní klopný obvod. Kondensátory C_1 a C_2 mohou mít různou kapacitu podle požadované střídy $\delta = t_1/t_2$.

Příklad návrhu astabilního multivibrátoru

Zadáno:

- napájecí napětí $U_{CC} = 12 \text{ V}$;
- kmitočet výstupních impulsů $f = 1 \text{ kHz}$;
- střída obdélníkového napětí $\delta = 50 \%$;
- saturační kolektorový proud $I_{C,\text{sat}} = 50 \text{ mA}$;
- typ použitých tranzistorů BC 337-25.

Postup řešení:

- 1) Pro zadaný tranzistor BC 337-25 najdeme v elektronickém katalogu minimální zesilovací činitel $h_{21E,\text{min}} = \beta_{\text{min}} = 160$.
- 2) Vypočteme proud bází v sepnutém stavu

$$I_{B,\text{sat}} = \frac{I_{C,\text{sat}}}{\beta_{\text{min}}} = \frac{0,05}{160} = 3,125 \cdot 10^{-4} \text{ A}.$$

- 3) Z elektronického katalogu určíme kolektorové napětí v sepnutém stavu $U_{CE,\text{sat}} = 0,7 \text{ V}$ a bázové napětí v sepnutém stavu $U_{BE,\text{sat}} = 0,74 \text{ V}$.

4) Kolektorový odpor vyjde

$$R_C = \frac{U_{CC} - U_{CE,sat}}{I_{C,sat}} = \frac{12 - 0,7}{0,05} = 226 \Omega \cong \mathbf{220 \Omega}.$$

5) Bázový odpor vyjde

$$R_B = \frac{U_{CC} - U_{BE,sat}}{I_{B,sat}} = \frac{12 - 0,74}{3,125 \cdot 10^{-4}} = 36032 \Omega \cong \mathbf{36 \text{ k}\Omega}.$$

6) Opakovací kmitočet multivibrátoru je f . Tomu odpovídá opakovací perioda

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}.$$

Pro dobu kmitu (opakovací periodu) platí vztah

$$T = \ln 2 \cdot (R_{B1} \cdot C_1 + R_{B2} \cdot C_2).$$

V našem zapojení jsou obě poloviny multivibrátoru stejné; platí tedy

$$\begin{aligned} R_{B1} &= R_{B2} = R_B; \\ C_1 &= C_2 = C. \end{aligned}$$

Doba kmitu je potom

$$T = 2 \cdot \ln 2 \cdot R_B \cdot C.$$

Z toho vyjádříme

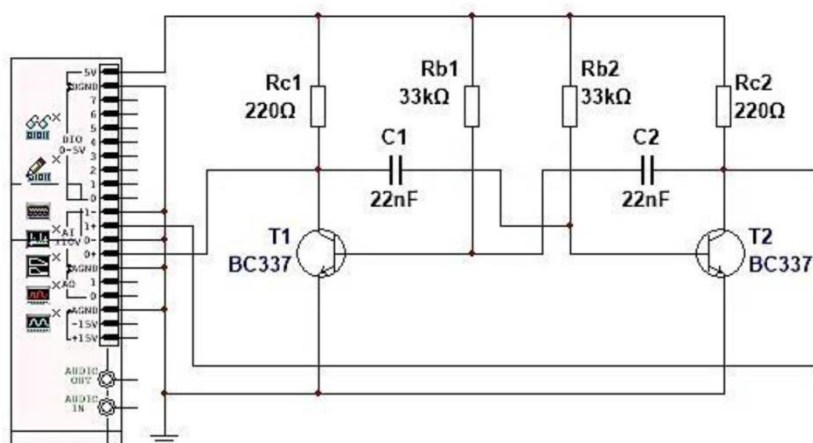
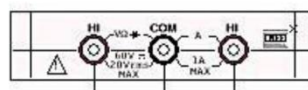
$$C = \frac{T}{2 \cdot \ln 2 \cdot R_B} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \ln 2 \cdot 36032} \cong 2,002 \cdot 10^{-8} \text{ F} \cong \mathbf{22 \text{ nF}}.$$

4. Postup měření

- 1) S využitím teoretického rozboru a elektronického katalogového listu tranzistoru BC 337-25 provedeme výpočet a návrh hodnot obvodových součástek astabilního multivibrátoru. Vypočtené hodnoty zapíšeme do tabulky.
- 2) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- 3) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod astabilního multivibrátoru. Hodnoty součástek upravíme podle návrhu z bodu 1.
- 4) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.

- 5) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. S využitím dvoukanálového osciloskopu odměříme tyto hodnoty: dobu jedné periody T , kmitočet výstupních impulsů f , střídu výstupního obdélníkového signálu δ . Hodnoty zapíšeme do tabulky.
- 6) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu. Spustíme on-line měření. Provedeme odměření též parametrů, jako v bodě 5. Odměřené hodnoty zapíšeme do tabulky.
- 7) Pomocí dvoukanálového osciloskopu myDAQ zaznamenáme průběhy napětí přímého a invertovaného výstupního kanálu multivibrátoru. Příslušný oscilogram uložíme do souboru a přiložíme k protokolu.
- 8) Odpovídající zadané, simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- 9) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

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

7. Tabulky hodnot

Parametr	Zadání/výpočet	Režim simulace	On-line režim
f [Hz]	1000		
T [ms]	1		
δ [%]	50		
R_B [Ω]		33000	33000
R_C [Ω]		220	220
C [nF]		22	22

8. Příklad výpočtu

Do přílohy protokolu vložte výpočet hodnot obvodových součástek astabilního multivibrátoru (může být psáno ručně).

9. Grafy hodnot

Do přílohy protokolu vložte oscilogram s průběhem přímého a invertovaného kanálu multivibrátoru.

10. Závěr

Zhodnoťte, jak si navzájem odpovídají výpočet, simulace a on-line měření. Vysvětlete, proč se všechny hodnoty přesně neshodují.

Příloha XIII: Protokol o měření č. M12

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421 Protokol o laboratorním cvičení			
zpracoval:	Jméno Příjmení	datum: DD. MM. RRRR	třída: ET3
kontroloval:		datum:	hodnocení:
připomínky:		č. skupiny:	č. protokolu: M12
		listů:	příloh:
teplota:		tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Aktivní RC kmitočtové filtry			
<u>1. Zadání</u>			
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, návrhového programu FilterPro, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte parametry a chování aktivního RC kmitočtového filtru. Úkoly:</p>			
1) V programu FilterPro firmy Texas Instruments proveďte návrh aktivního kmitočtového filtru typu dolní propusti v Sallenově-Keyově zapojení s Butterworthovou aproximací. Vytvořené schéma s hodnotami obvodových součástek přiložte jako přílohu k protokolu. Volte tyto parametry:			
a) druh filtru dolní propust;			
b) řád filtru je 7 (strmost filtru -140 dB/dek, resp. -42 dB/okt.);			
c) mezní (zlomový) kmitočet je 500 Hz;			
d) zapojení typu Sallen-Key;			
e) aproximace typu Butterworth;			
f) napěťové zesílení filtru v propustném pásmu je $1,0 = 0$ dB;			
g) použity nízkopříkonové operační zesilovače TL 074.			
2) V režimu simulace nakreslete navržený obvod a proveďte odměření přenosové charakteristiky (amplitudovou i fázovou část argumentu) filtru pomocí Bodeho analyzátoru v rozmezí kmitočtů od 1 Hz do 20 kHz. Určete tyto parametry:			
a) Přenos filtru $a_{U,d}$ [dB] v propustném pásmu.			
b) Přenos filtru $a_{U,h}$ [dB] v nepropustném pásmu (šum pozadí).			
c) Mezní (zlomový) kmitočet filtru f_m [Hz].			
d) Strmost poklesu přenosu filtru S [dB/dek].			
3) V režimu on-line měření proveďte odměření stejných parametrů jako v předešlém bodě.			
4) Porovnejte navržené, simulované a reálné hodnoty a případné rozdíly vysvětlete.			
<u>2. Cíl měření</u>			
Naučit se navrhovat aktivní RC kmitočtové filtry, poznat rozdíl mezi teoretickým návrhem filtru a jeho praktickou realizací.			

3. Teoretický rozbor

Úvod do aktivních RC kmitočtových filtrů

Kmitočtové filtry jsou lineární elektronické obvody, případně algoritmy u číslicových filtrů, které definovaným způsobem omezují kmitočtové spektrum signálu, to znamená, že určitou část spektra propouštějí a další část spektra potlačují.

Podle toho, zda je určité pásmo kmitočtů propouštěno či potlačováno, definujeme:

- 1) *propustné pásmo (pass band)* – pásmo kmitočtů, ve kterém jsou signály filtrem propouštěny bez útlumu, případně s malým útlumem;
- 2) *nepropustné pásmo (stop band)* – pásmo kmitočtů, ve kterém jsou signály filtrem silně utlumovány.

Filtry můžeme dělit do skupin podle různých hledisek. Nejčastěji je dělíme podle:

- 1) impulsní odezvy;
- 2) kmitočtové charakteristiky;
- 3) použité technologie.

ad 1) Rozdělení filtrů podle impulsní odezvy:

a) *Filtry s nekonečnou impulsní odezvou IIR (Infinite Impulse Response)* – patří sem prakticky všechny analogové filtry s výjimkou zpožďovacích obvodů a dále číslicové filtry IIR. Funkce s nekonečnou impulsní odezvou nikdy nedosáhne nulové hodnoty, třebaže se k ní bude velmi blížit. Příkladem filtru IIR je RC článek, který má exponenciální impulsní odezvu danou velikostí časové konstanty $\tau = R \cdot C$. Z praktického hlediska je namísto impulsní odezvy používána odezva na jednotkový napěťový skok.

b) *Filtry s konečnou impulsní odezvou FIR (Finite Impulse Response)* – filtry FIR umožňují vytvářet přenosové funkce, které nemají ekvivalent v technologii lineárních obvodů. Jsou stabilní (neobsahují zpětné vazby) a lze s nimi realizovat takové strmosti přechodu z propustného do nepropustného pásma, které nemohou být prakticky dosaženy v analogové oblasti. Velikost potlačení signálu v nepropustném pásmu závisí na hodnotě koeficientů násobení. Při určování požadavků na přenosovou charakteristiku filtru je nutné mít na paměti, že se při zvýšení řádu filtru zvětšuje jeho zpoždění, ale fázová charakteristika zůstává lineární. Pro jejich vytvoření je vhodné použít signálové procesory (DSP) s pevnou řádovou čárkou, které jsou jednodušší, zpravidla rychlejší a levnější než procesory s pohyblivou řádovou čárkou.

ad 2) Rozdělení filtrů podle kmitočtové charakteristiky:

a) *Selektivní filtry (frequency selective filters)* – potlačují přenos kmitočtových složek signálu v nepropustném pásmu. Podle toho, jaké pásmo kmitočtů propouštějí a jaké potlačují, je dělíme na:

aa) *dolní propusti DP (LP – low pass)* ... propouštějí signály o kmitočtech nižších než je mezní kmitočet f_m ;

ab) *horní propusti HP (HP – high pass)* ... propouštějí signály o kmitočtech vyšších než je mezní kmitočet f_m ;

ac) *pásmové propusti PP (BP – band pass)* ... propouštějí signály o kmitočtech mezi dolním mezním kmitočtem $f_{m,d}$ a horním mezním kmitočtem $f_{m,h}$;

ad) pásmové zádrže PZ (*BR – band reject*) ... potlačují signály o kmitočtech mezi dolním mezním kmitočtem $f_{m,d}$ a horním mezním kmitočtem $f_{m,h}$;

ae) filtry s nulou přenosu v nepropustném pásmu (*notch filters*) ... patří sem DPN (dolní propust s nulou přenosu), HPN (horní propust s nulou přenosu), PPN (pásmová propust s nulou přenosu), PZN (pásmová zádrž s nulou přenosu).

b) Korekční filtry (*shelving, peak, equalizing filters*) – mají za úkol vyrovnávat kmitočtový přenos dané přenosové soustavy tak, aby výsledný signál odpovídal v daných mezích vstupnímu. Příkladem může být kmitočtový korektor pro radiotelefonní přenosový systém či kmitočtové korektory (ekvalizéry) pro audiozesilovače.

c) Fázovací obvody (*zpoždovací články, všepropustné filtry*) (*all-pass filters*) – hlavním úkolem těchto obvodů je vložit do signálové cesty předepsaným způsobem kmitočtově závislé zpoždění a tak korigovat průběh fázové charakteristiky bez změny charakteristiky amplitudové.

ad 3) Rozdělení filtrů podle použité technologie:

a) Analogové filtry – v různých variantách jsou používány již od zač. 20. stol. Patří sem pasivní filtry: RC, RLC, mikrovlnné filtry RLC, dielektrické filtry, elektromechanické filtry, piezoelektrické filtry, filtry s povrchovou akustickou vlnou; aktivní filtry: ARC, ASC.

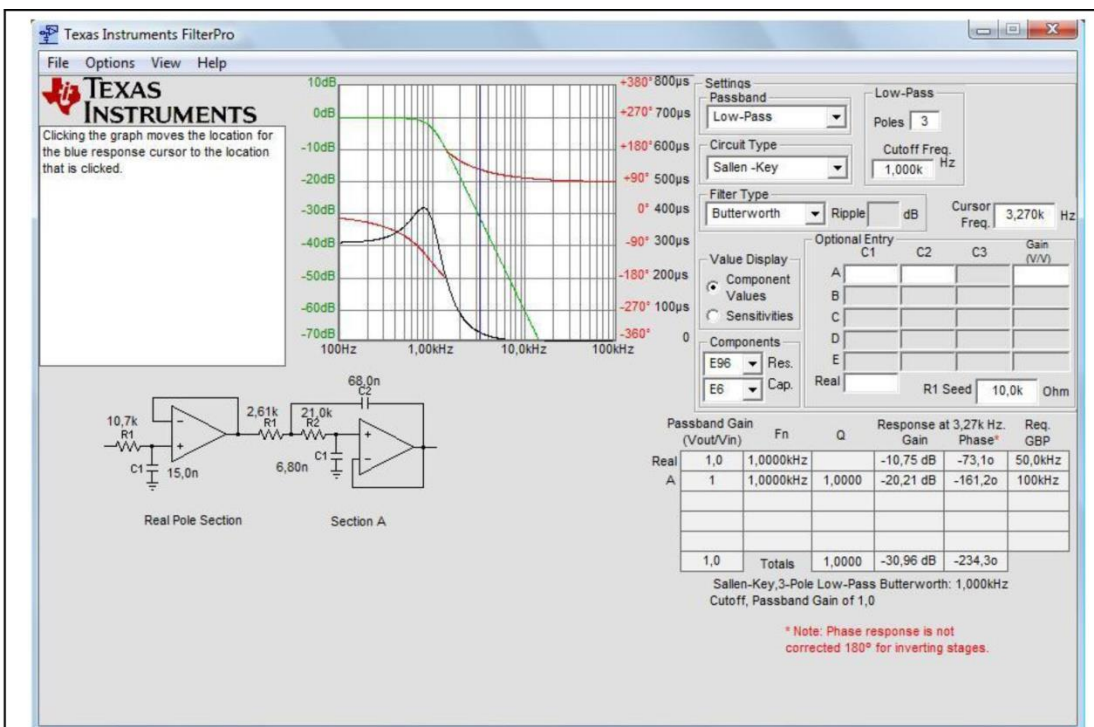
b) Číslicové filtry – jejich činnost spočívá ve zpracování digitalizovaných signálů v digitálních signálových procesorech (DSP) a také v tzv. programovatelných logických polích (FPGA).

Návrh aktivních RC filtrů (ARC) pomocí číslicového počítače

Pro návrh filtrů ARC pomocí číslicového počítače existuje větší množství programů různých výrobců. Jeden z nejlepších programů je FilterPro od firmy Texas Instruments, vyvíjený již od roku 1991. Tento program:

- vyřeší návrh celé řady frekvenčních filtrů včetně jejich modifikací a řádů;
- zobrazí celkové schéma s hodnotami všech součástek;
- vykreslí základní charakteristiky;
- vypočte parametry pro zadané kmitočty a odchylky hodnot R, C;
- umožní vkládat vlastní hodnoty R, C;
- dokáže zaokrouhlovat přesně vypočtené hodnoty R, C v rozmezí řad E6 až E192 a analyzovat vzniklé změny.

Návrh probíhá zcela intuitivním způsobem a nevyžaduje hlubší teoretické znalosti. Pro velkou většinu aplikací vyhoví i maximální použitelný aktivní analogový filtr 10. řádu, který tvoří jakýsi rozumný kompromis mezi analogovou a číslicovou filtrací pro běžné aplikace.



Vzhled uživatelského okna programu FilterPro

Samotné okno programu se skládá z pružné nápovědy ve svém levém horním rohu, následuje kmitočtová osa, kde se vykreslují aktuálně vypočtené charakteristiky a konečný schématický návrh zapojení operačních zesilovačů včetně hodnot RC sítě.

Passband – volba druhu kmitočtového filtru:

Low-Pass ... dolní propust (DP);

High-Pass ... horní propust (HP);

Band-Pass ... pásmová propust (PP);

Notch ... pásmová zádrž s nulou přenosu (úzkopásmová zádrž) (PZN);

Wire Band-Pass ... pásmová propust (PP);

Band-Reject ... pásmová zádrž (PZ).

Poles – volba řádu filtru (max. 10).

Cutoff Freq. – volba mezního kmitočtu.

Q – volba činitele jakosti filtru.

Circuit Type – volba typu zapojení filtru:

MFB Single-Ended ... zapojení s vícenásobnou zpětnou vazbou s uzemněným vstupem;

Sallen-Key ... zapojení Sallenovo-Keyovo;

MFB Fully Differential ... zapojení s vícenásobnou zpětnou vazbou s plně rozdílovým vstupem.

Filter Type – volba matematické aproximace filtru:

Butterworth ... Butterworthova aproximace;

Bessel ... Besselova aproximace;

Chebyshev ... Čebyševova aproximace;
Linear Phase, 0.05 ... aproximace s lineární fází se zvlněním max. $0,05^\circ$;
Linear Phase, 0.5 ... aproximace s lineární fází se zvlněním max. $0,5^\circ$;
Gaussian 12 dB ... přechodová Gaussova aproximace s hraničním útlumem -12 dB;
Custom Fn&Q ... uživatelská aproximace při známých hodnotách mezního kmitočtu f_n a činitele jakosti Q .

Ripple – volba hodnoty zvlnění v dB (pouze u Čebyševovy aproximace).

Cursor Freq. – posice ukazatele na kmitočtové ose.

Value Display – sekce zobrazení hodnot:

Component Values ... zobrazení hodnot RC sítě;

Sensitives ... citlivostní analýza.

Components – volba metody zaokrouhlování vypočtených hodnot:

Exact – použít přesnou hodnotu;

E6, E12, E24, E48, E96, E192 ... zaokrouhlování podle příslušných elektrotechnických řad.

Optional Entry – zadání konkrétních hodnot kapacit kondensátorů a vstupní impedance filtru.

Vypočtená tabulka v pravém dolním rohu zobrazuje celkový přehled, odezvu na zvoleném kmitočtu a oddělené součty, resp. součiny pro jednotlivé bloky víceúrovňových filtrů. Přehledně také můžeme sledovat vliv zaokrouhlování vypočtených hodnot R, C na vlastnosti filtru. Z parametrů dostáváme:

Passband Gain (Vout/Vin) – napěťový zisk v propustném pásmu;

Fn – mezní kmitočet;

Q – činitel jakosti;

Gain – napěťový zisk v dB na zadaném kmitočtu;

Phase – fázový posun na zadaném kmitočtu;

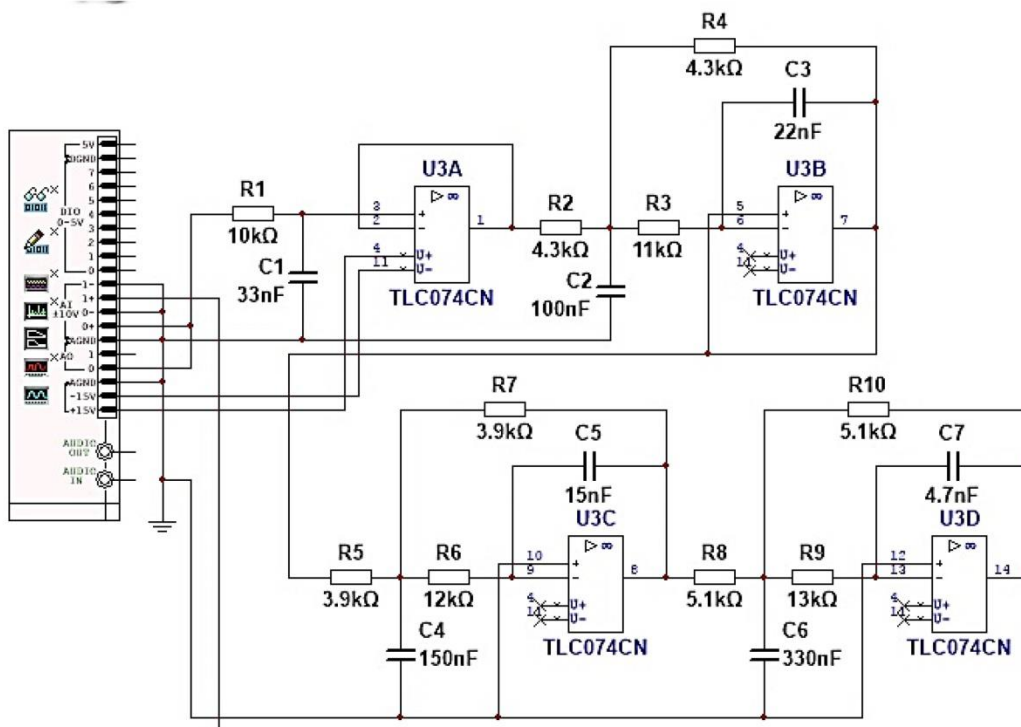
Req. GBP – požadovaná hodnota šířky zesilovaného kmitočtového pásma v rámci operační sítě.

4. Postup měření

- 1) V programu FilterPro navrhujeme požadovaný aktivní kmitočtový filtr. Uložíme navržené schéma a vygenerovanou přenosovou charakteristiku.
- 2) V počítači spustíme program NI Multisim 13.0. Vytvoříme nový návrh (New Design) pro rozhraní myDAQ (NI myDAQ design).
- 3) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod aktivního filtru. Hodnoty součástek upravíme podle návrhu z bodu 1.
- 4) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- 5) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. S využitím Bodeho analyzátoru odměříme přenosovou charakteristiku filtru a uložíme ji do přílohy protokolu. Z charakteristiky určíme tyto hodnoty: přenos filtru v propustném a nepropustném pásmu, mezní kmitočet filtru, strmota filtru. Hodnoty zapíšeme do tabulky.
- 6) Připojíme měřicí přípravek k rozhraní myDAQ podle schématu. Spustíme on-line měření. Provedeme odměření týž parametrů, jako v bodě 5. Odměřené hodnoty zapíšeme do tabulky.

- 7) Odpovídající zadané, navržené, simulované a reálné hodnoty mezi sebou porovnáme; případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- 8) Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s aktivním filtrem typu dolní propusti.

7. Tabulky hodnot

Parametr	Zadání	FilterPro (návrh)	Multisim (simulace)	myDAQ (on-line měření)
$a_{U,d}$ [dB]	0			
$a_{U,h}$ [dB]	-----			
f_m [Hz]	500			
S [dB/dek]	-140			

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtu.

9. Grafy hodnot

Do příloh protokolu vložte tyto položky:

- Návrhnuté schéma zapojení aktivního filtru včetně hodnot obvodových součástek.
- Přenosovou charakteristiku filtru vygenerovanou programem FilterPro.
- Přenosovou charakteristiku filtru vygenerovanou Bodeho analyzátořem v režimu simulace a on-line režimu (do samostatných grafů).

10. Závěr

Zhodnořte, jak se měření povedlo. Porovnejte navrženou, simulovanou a reálně změřenou přenosovou charakteristiku, zhodnořte kvalitu měřeného filtru.

Příloha XIV: Protokol o měření č. M13

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M13
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření pasivních RC kmitočtových filtrů		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku se seznámte s charakteristikami a parametry základních zapojení pasivních RC kmitočtových filtrů. Ve všech měřeních nastavujte u Bodeho analyzátoru dolní kmitočet (Start Frequency) 10 Hz, horní kmitočet (Stop Frequency) 10 kHz a 10 kroků (Steps) na dekádu.</p>		
<p>1) RC kmitočtový filtr typu dolní propusti</p> <p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření pasivního RC kmitočtového filtru typu dolní propusti.</p> <p>b) Z hodnot obvodových součástek vypočtete mezní kmitočet filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_1 a S_2 považujte za rozpojené.</p> <p>c) S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou 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).</p> <p>d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtete hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).</p> <p>e) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{m,sim}$ (simulace), $f_{m,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnejte a vysvětlete případné rozdíly.</p> <p>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 kmitočtového filtru.</p>		
<p>2) RC kmitočtový filtr typu horní propusti</p> <p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření pasivního RC kmitočtového filtru typu horní propusti.</p> <p>b) Z hodnot obvodových součástek vypočtete mezní kmitočet filtru $f_{m,vyp}$. Spínače S_3 a S_4 považujte za rozepnuté.</p> <p>c) S využitím Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou 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).</p>		

- d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtete hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (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 kmitočtového filtru.

3) RC pásmová propust – Wienův článek

- a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření RC pásmové propusti v zapojení dle Wiena.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočtete kritický kmitočet filtru $f_{0,vyp}$ a kritický přenos filtru $A_{0,vyp}$.
- c) Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazte amplitudovou a fázovou kmitočtovou charakteristiku měřeného filtru v režimu simulace i on-line měření a uložte ji do souboru.
- d) Z grafů získaných v předchozím bodě odečtete hodnoty kritických kmitočtů a přenosů $f_{0,sim}$, $A_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$, $A_{0,skut}$ v obou režimech činnosti (simulace/on-line měření).
- e) Hodnoty kritických kmitočtů 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) RC pásmová zádrž – dvojitý T-článek

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

2. Cíl měření

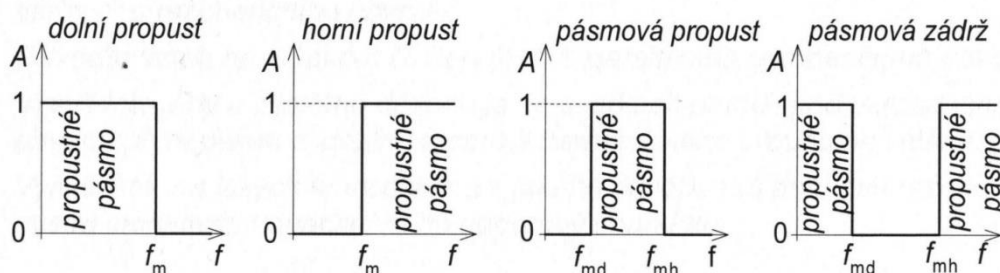
Prakticky si ověřit teoretické poznatky o pasivních RC kmitočtových filtrech.

3. Teoretický rozbor

I. Použití a druhy pasivních RC filtrů

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

- *dolní propusti (DP)* ... propouštějí signály o kmitočtech nižších, než je mezní kmitočet f_m ;
- *horní propusti (HP)* ... propouštějí signály o kmitočtech vyšších, než je mezní kmitočet f_m ;
- *pásmové propusti (PP)* ... propouštějí signály o kmitočtech ležících mezi dolním mezním kmitočtem f_{md} a horním mezním kmitočtem f_{mh} ;
- *pásmové zádrže (PZ)* ... potlačují signály o kmitočtech ležících mezi dolním mezním kmitočtem f_{md} a horním mezním kmitočtem f_{mh} .

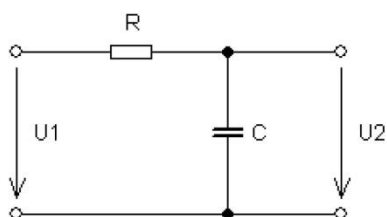


Obr. 1. Idealizované průběhy přenosových charakteristik základních filtrů

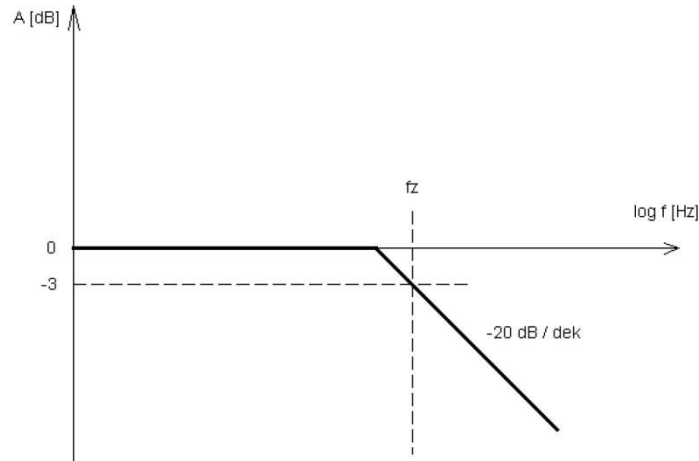
II. Základní zapojení jednoduchých RC filtrů

II.A Dolní propust (integrační článek RC)

RC článek zapojený jako dolní propust se chová tak, že se zvyšujícím se kmitočtem vstupního napětí výstupní napětí klesá. U ideálního integračního článku RC odpovídá desetinásobnému zvýšení kmitočtu desetinásobný pokles amplitudy napětí. Tedy sklon modulové (amplitudové) kmitočtové 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

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

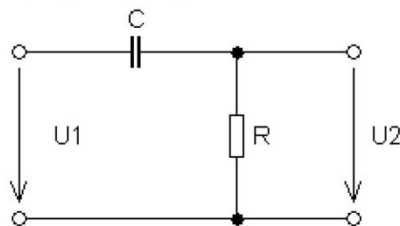
kde ω je úhlový kmitočet, C kapacita kondenzátoru, R odpor rezistoru.

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

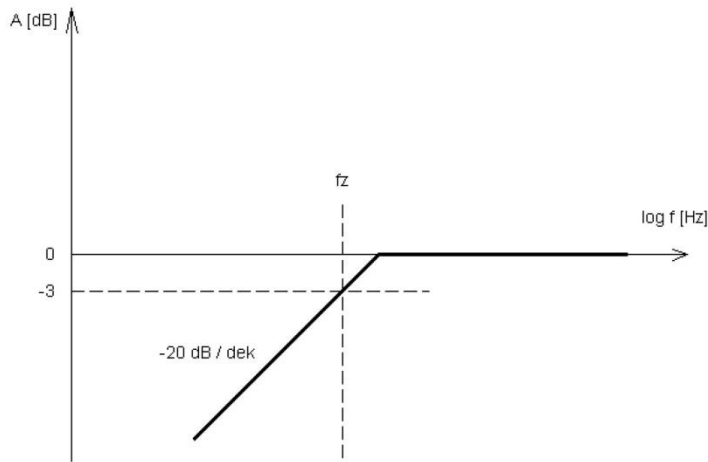
$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

II.B Horní propust (derivační článek RC)

RC článek zapojený jako horní propust má frekvenční charakteristiku takovou, že se zvyšujícím se kmitočtem vstupního napětí výstupní napětí roste. U ideálního derivačního článku RC odpovídá desetinásobnému zvýšení kmitočtu desetinásobný vzrůst amplitudy napětí. Tedy sklon modulové (amplitudové) kmitočtové 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

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

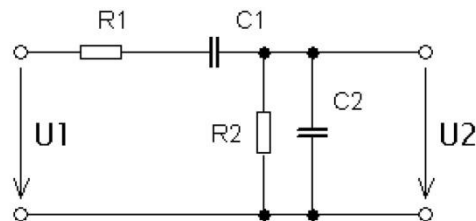
kde ω je úhlový kmitočet, C kapacita kondenzátoru, R odpor rezistoru.

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

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

II.C Pásmová propust

Pásmová propust v zapojení podle Wienu je kombinací dolní a horní propusti. Hodnoty součástek jsou navrženy u Wienova článku pro jeden mezní (zlomový, kritický) kmitočet f_0 . Wienův článek propouští při tomto kmitočtu signál zeslabený o jednu třetinu. Wienův článek se nejčastěji používá jako selektivní kmitočtový 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 kritickém kmitočtu f_0 .

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

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

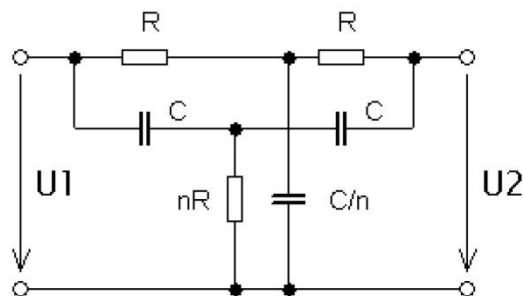
Velice často se používají články, ve kterých je $R_1 = R_2 = R$ a $C_2 = C_1 = C$. Potom platí:

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

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

II.D Pásmová zádrž

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



Obr. 7. Souměrný dvojitý T-článek

Vztahy pro kritický kmitočet 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 kritického kmitočtu 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 kmitočtový filtr typu dolní propusti

- 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 kmitočet 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 kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$. Tyto kmitočty odpovídají poklesu hodnoty přenosu (Gain) o -3 dB oproti hodnotě přenosu na nejnižším kmitočtu.
- i) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (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 kmitočtového filtru. Naměřené charakteristiky uložíme do souboru. Po dokončení měření odpojíme obvod dolní propusti od rozhraní NI myDAQ.

2) RC kmitočtový filtr typu horní propusti

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC horní propusti.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme mezní kmitočet 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 kmitočtů $f_{m,sim}$ a $f_{m,skut}$. Tyto kmitočty odpovídají poklesu hodnoty přenosu (Gain) o -3 dB oproti hodnotě přenosu na nejvyšším kmitočtu.
- h) Hodnoty mezních kmitočtů $f_{m,vyp}$ (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 kmitočtového 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 kritický kmitočet 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 kmitočtů a přenosů $f_{0,sim}$, $A_{0,vyp}$ a $f_{0,skut}$, $A_{0,vyp}$. Tyto kmitočty a přenosy odpovídají maximu amplitudové charakteristiky.
- h) Hodnoty kritických kmitočtů 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 porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly. Po dokončení měření odpojíme obvod pásmové propusti od rozhraní NI myDAQ.

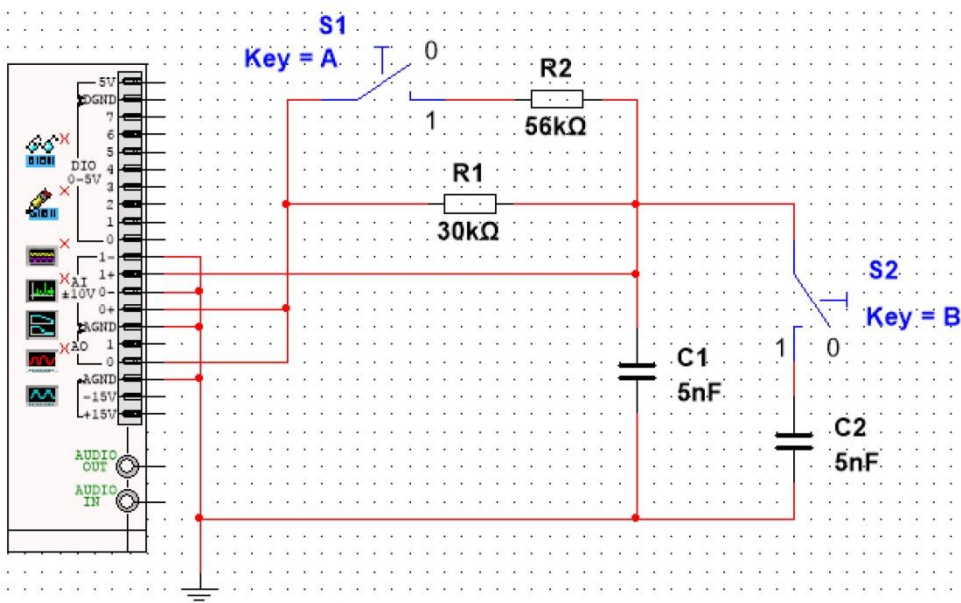
4) RC pásmová zádrž – dvojitý T-článek

- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření parametrů RC pásmové zádrže v zapojení souměrného dvojitého T-článku.
- b) Z hodnot obvodových součástek vypočteme kritický kmitočet filtru $f_{0,vyp}$.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.

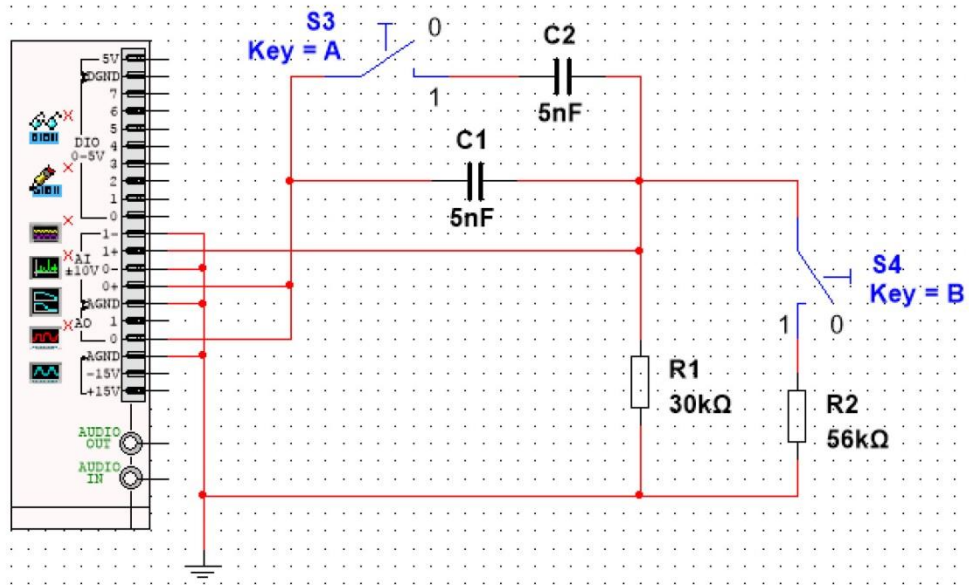
- d) Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Pomocí Bodeho analyzátoru zobrazíme simulovanou amplitudovou a fázovou přenosovou charakteristiku měřeného filtru. Zobrazený charakterogram nezavíráme.
- e) Připojíme obvod pásmové zádrže z měřicího přípravku k rozhraní myDAQ.
- f) Spustíme on-line měření. 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 kmitočtů $f_{0,sim}$ a $f_{0,skut}$. Tyto kmitočty odpovídají minimu amplitudové charakteristiky.
- h) Hodnoty kritických kmitočtů $f_{0,vyp}$ (vypočtená hodnota), $f_{0,sim}$ (simulace), $f_{0,skut}$ (on-line měření) navzájem porovnáme a vysvětlíme případné rozdíly.
- 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

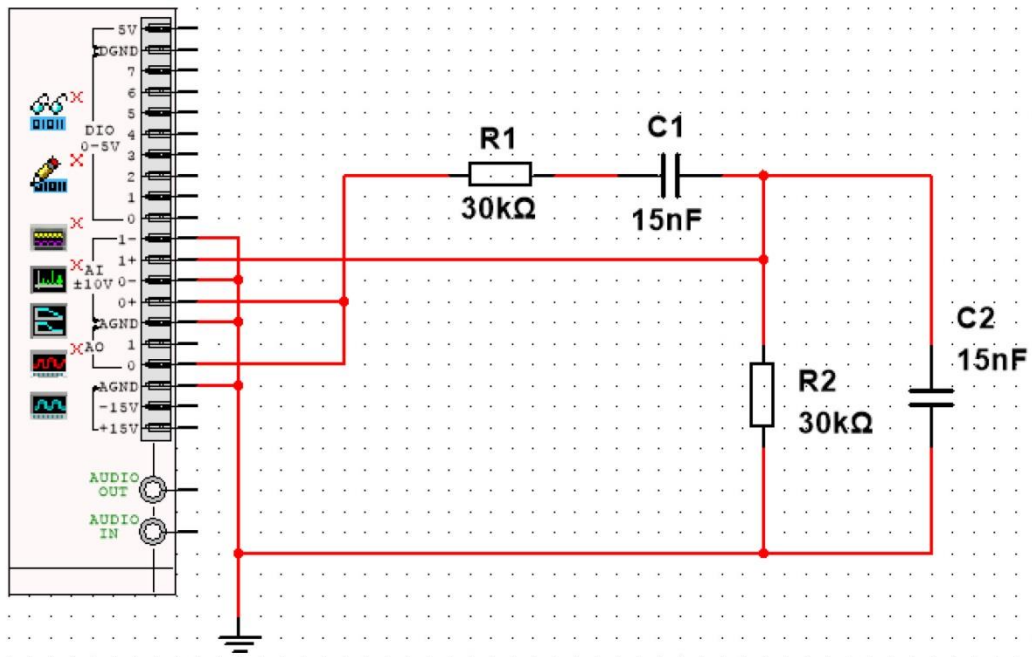
1) RC kmitočtový filtr typu dolní propusti



2) RC kmitočtový filtr typu horní propusti



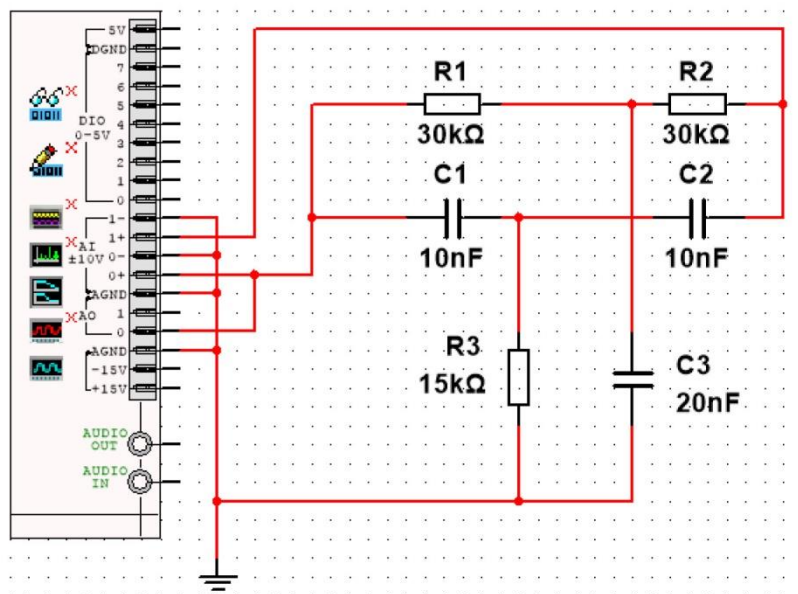
3) RC pásmová propust – Wienův článek



~ 10 ~

~ 249 ~

4) RC pásmová zadrž – dvojitý T-článek



6. Seznam použitých přístrojů

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

7. Tabulky hodnot

1) RC kmitočtový filtr typu dolní propustí

Vypočtená hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,skut} = \dots$ Hz.

Sepnutí spínače S_1 má tento účinek: ...

Sepnutí spínače S_2 má tento účinek: ...

2) RC kmitočtový filtr typu horní propustí

Vypočtená hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,vyp} = \dots$ Hz.

Simulovaná hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,sim} = \dots$ Hz.

Reálná hodnota mezního kmitočtu ... $f_{m,skut} = \dots$ Hz.

Sepnutí spínače S_3 má tento účinek: ...

Sepnutí spínače S_4 má tento účinek: ...

3) RC pásmová propust – Wienův článek

Vypočtená hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,vyp} = \dots$ Hz.
Simulovaná hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,sim} = \dots$ Hz.
Reálná hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,skut} = \dots$ Hz.

Vypočtená hodnota kritického přenosu ... $A_{0,vyp} = \dots$
Simulovaná hodnota kritického přenosu ... $A_{0,sim} = \dots$
Reálná hodnota kritického přenosu ... $A_{0,skut} = \dots$

4) RC pásmová zádrž – dvojitý T-článek

Vypočtená hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,vyp} = \dots$ Hz.
Simulovaná hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,sim} = \dots$ Hz.
Reálná hodnota kritického kmitočtu ... $f_{0,skut} = \dots$ Hz.

8. Příklad výpočtu

V tomto protokolu není třeba uvádět příklady výpočtů.

9. Grafy hodnot

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

10. Závěr

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

Příloha XV: Protokol o měření č. M14

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET4
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M14
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření základních zapojení s operačními zesilovači		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku ověřte chování základních zapojení s operačními zesilovači.</p>		
<p>1) Invertující zapojení operačního zesilovače</p> <p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření invertujícího zesilovače.</p> <p>b) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$ invertujícího zesilovače.</p> <p>c) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s kmitočtem 1 kHz a amplitudou 100 mV.</p> <p>d) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 pro všechny kombinace rezistorů. Dopačítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.</p> <p>e) K rozhraní NI myDAQ připojte obvod invertujícího zesilovače z měřicího přípravku.</p> <p>f) V on-line režimu zopakujte měření z bodu d. Dopačítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,skut}$.</p> <p>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.</p>		
<p>2) Neinvertující zapojení operačního zesilovače</p> <p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle přiloženého schématu obvod pro měření neinvertujícího zesilovače.</p> <p>b) Pro všechny zadané kombinace rezistorů vypočítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,vyp}$ neinvertujícího zesilovače.</p> <p>c) Funkční generátor nastavte na sinusový průběh signálu s kmitočtem 1 kHz a amplitudou 100 mV.</p> <p>d) Pomocí osciloskopu zobrazte a změřte efektivní hodnotu vstupního napětí U_1 a výstupního napětí U_2 pro všechny kombinace rezistorů. Dopačítejte výsledná napěťová zesílení $A_{u,sim}$.</p>		

- 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 kmitočtem 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

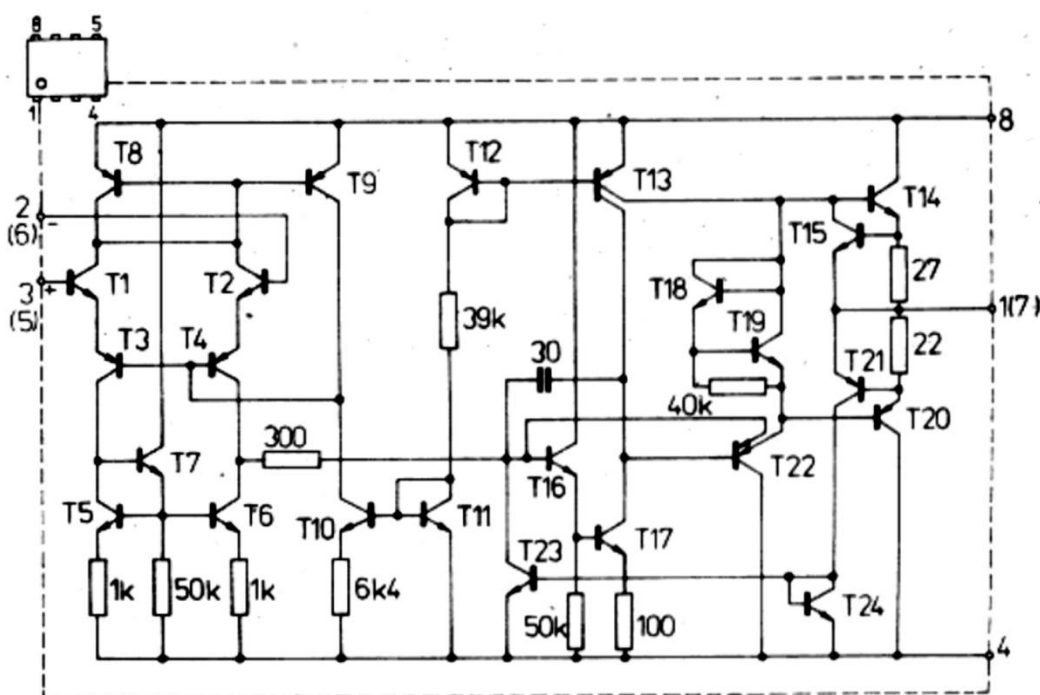
Princip činnosti operačního zesilovače (OZ)

Operační zesilovač je universální 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 kmitočet 1 Hz, transiční kmitočet 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 μA 702 byl vyvinut firmou Fairchild Semiconductor Corporation v r. 1963. Dodnes populární operační zesilovač μA 741 byl vyvinut Davidem Fuglarem r. 1967 zdokonalením ob-

vodu $\mu A 709$. 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).

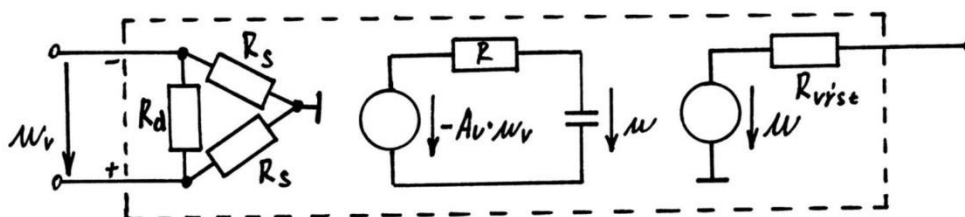


Obr. 1. Obvodové řešení vnitřního zapojení operačního zesilovače TESLA MA 1458:
 1 – výstup A; 2 – invertující vstup A; 3 – neinvertující vstup A; 4 – $-U_{cc}$; 5 - neinvertující vstup B; 6- invertující vstup B; 7 – výstup B; 8 – $+U_{cc}$

Základní vlastnosti ideálního operačního zesilovače

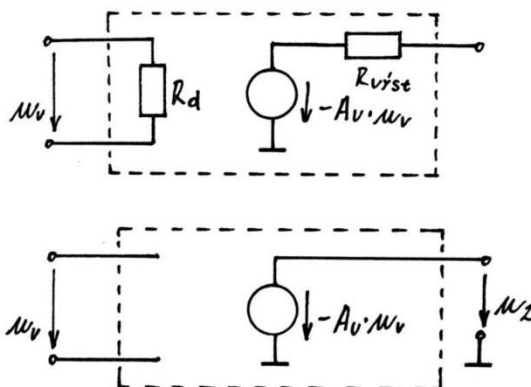
1. Nekonečné napěťové zesílení A_u .
2. Nekonečný vstupní odpor R_d .
3. Nulový výstupní odpor $R_{výst}$.
4. Dokonalé potlačení souhlasného napětí $CMRR$.
5. Nulový offset, drift nuly a šum.
6. Nekonečná šíře přenášeného kmitočtového pásma B .

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 kmitočtu.



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

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

$$U_2 = A_U \cdot U_v$$

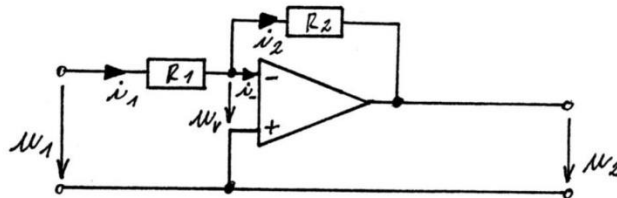
konečné_číslo $+\infty$ nulové_číslo

Při použití OZ v obvodech se silnou ZZV 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: $u_v = 0$; $i_- = 0 \Rightarrow i_1 = i_2$

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

jestliže $i_1 = i_2$, potom

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

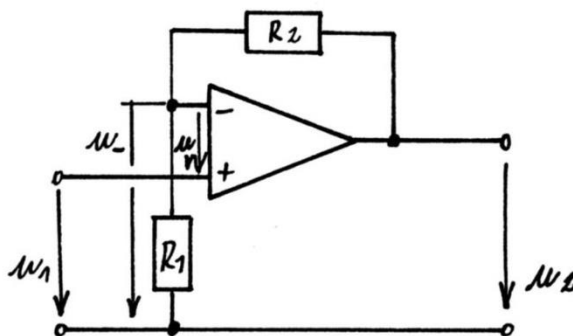
$$\frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

a tedy

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

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

Neinvertující zesilovač s OZ



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

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

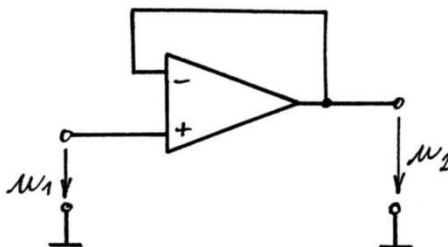
$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_2$$

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

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 kmitočtem 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 myDAQ.

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 kmitočtem 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.

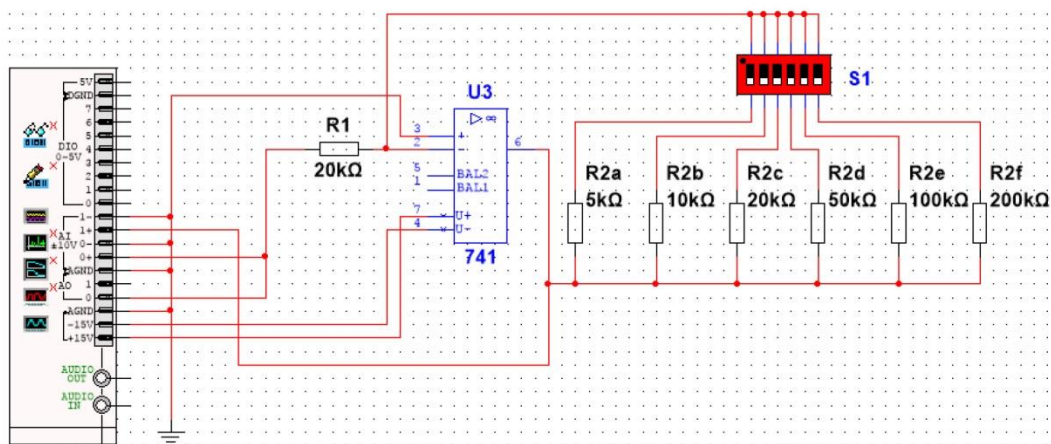
- j) Hodnoty $A_{u,vyp}$, $A_{u,sim}$, $A_{u,skut}$ získané výpočtem, simulací a on-line měřením mezi sebou porovnáme a případné rozdíly se pokusíme vysvětlit.
- k) Vypneme režim on-line měření a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní myDAQ.

3) Napěťový sledovač s operačním zesilovačem

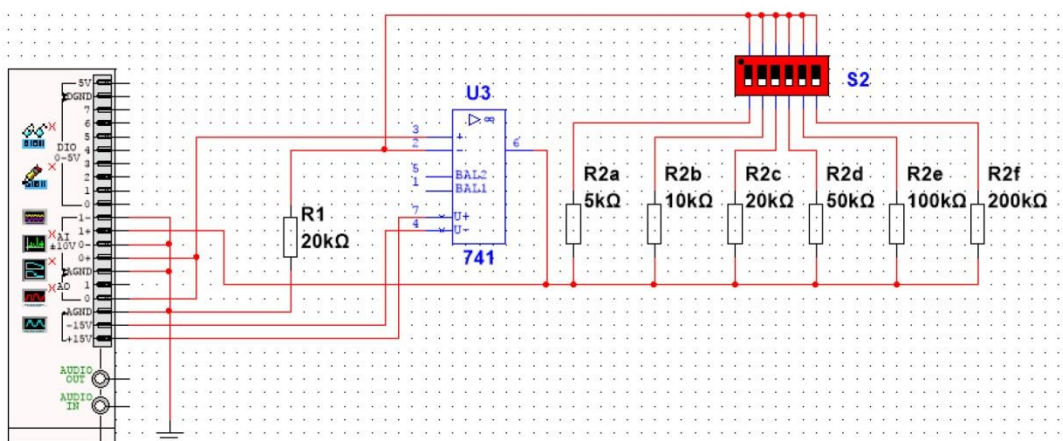
- a) V prostředí NI myDAQ design nakreslíme podle přiloženého schématu obvod pro měření napěťového sledovače.
- b) Funkční generátor nastavíme na sinusový průběh signálu s kmitočtem 1 kHz a amplitudou 100 mV.
- c) Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace. Spustíme běh simulace 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

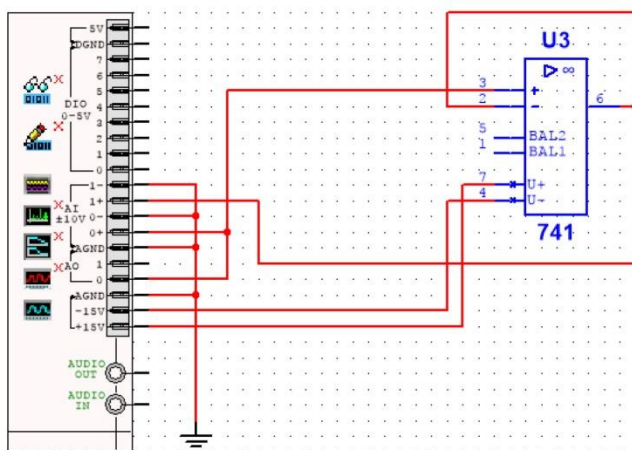
1) Invertující zapojení operačního zesilovače



2) Neinvertující zapojení operačního zesilovače



3) Napět'ový 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 ... $A_{u,sim} = U_{2,sim}/U_{1,sim} = \dots$

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

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.

Příloha XVI: Protokol o měření č. M15

VOŠ, SŠ, Centrum odborné přípravy Sezimovo Ústí, Budějovická 421		
Protokol o laboratorním cvičení		
zpracoval:	datum:	třída:
Jméno Příjmení	DD. MM. RRRR	ET3
kontroloval:	datum:	hodnocení:
připomínky:	č. skupiny:	č. protokolu:
	listů:	M15
teplota:	tlak:	rel. vlhkost:
úloha: Měření optoelektronického vazebního členu (optronu)		
<u>1. Zadání</u>		
<p>S využitím simulačního programu NI Multisim, měřicího rozhraní NI myDAQ a měřicího přípravku s optoelektronickým vazebním členem (optronem) Tesla WK 164 12-4 proveďte níže uvedená měření.</p>		
1) Měření V-A charakteristiky vysílače (infračervená GaAs dioda)		
<p>a) V prostředí simulačního programu Multisim vytvořte podle předloženého schématu obvod pro měření parametrů optoelektronického vazebního členu.</p> <p>b) Spusťte režim simulace. Sepněte spínač S_1, spínač S_2 nechte rozpojený.</p> <p>c) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě vysílače. Proud $I_{F,sim}$ a napětí $U_{F,sim}$ odečítejte přímo na multimetru. Po odměření ukončete režim simulace.</p> <p>d) Připojte k rozhraní myDAQ přípravek s optronem. Na přípravku sepněte spínač S_1 do polohy „1“, spínač S_2 do polohy „0“. Spusťte režim on-line měření.</p> <p>e) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,skut}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenejte příslušné úbytky napětí $U_{F,skut}$ vznikající na diodě vysílače. Proud $I_{F,skut}$ a napětí $U_{F,skut}$ odečítejte přímo na multimetru. Po odměření ukončete režim on-line měření.</p> <p>f) Všechny změřené hodnoty vynesete do společného grafu. Určete prahové napětí U_{T0} diody vysílače. Porovnejte průběhy simulované a reálné V-A charakteristiky diody vysílače, rozdíly se pokuste vysvětlit.</p>		
2) Měření přenosové charakteristiky optronu		
<p>a) Spusťte režim simulace. Spínač S_1 nechte sepnutý, spínač S_2 nechte rozpojený.</p> <p>b) Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujte podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenejte kolektorový proud $I_{C,sim}$ tekoucí tranzistorem přijímače. Proud $I_{F,sim}$ odečítejte přímo na multimetru, proud $I_{C,sim}$ odečítejte nepřímo jako úbytek napětí na odporu 10Ω (pomocí osciloskopu). Po odměření ukončete režim simulace.</p>		

- c) Měření podle bodu *b* proveďte v režimu on-line měření. Po odměření ukončete on-line režim.
- d) Vyneste do společného grafu simulovanou a reálně odměřenou přenosovou charakteristiku optronu, tj. závislost $I_C = f(I_F)$ a $CTR = f(I_F)$. Hodnotu proudového přenosového poměru CTR porovnejte s katalogem.

3) Měření doby náběhu, doby doběhu a saturačního napětí

- a) Spusťte režim simulace. Spínač S_1 rozepněte, spínač S_2 sepněte. Funkční generátor nastavte na TTL výstup s kmitočtem 1 kHz.
- b) Pomocí dvoukanálového osciloskopu změřte dobu náběhu impulsu $t_{f, \text{sim}}$, dobu doběhu impulsu $t_{f, \text{sim}}$ a saturační napětí $U_{CE, \text{sat}, \text{sim}}$. Po odměření ukončete režim simulace.
- c) Spusťte režim on-line měření. Pomocí osciloskopu myDAQ změřte dobu náběhu impulsu $t_{f, \text{skut}}$, dobu doběhu impulsu $t_{f, \text{skut}}$ a saturační napětí $U_{CE, \text{sat}, \text{skut}}$.

4) Měření časových průběhů

V režimu on-line měření zaznamenejte a jako přílohu k protokolu vložte oscilogramy napěťových průběhů na vstupu optronu (TTL generátor) a výstupu optronu (výstup nezatížen). Kmitočet generátoru volte rovný 1 kHz.

2. Cíl měření

Poznat prakticky vlastnosti a využití optoelektronických vazebních členů a naučit se ověřovat jejich parametry měření.

3. Teoretický rozbor

Optoelektronický vazební člen (optron) WK 164 12-4

Obvod WK 164 12-4 je optoelektronický vazební člen (neboli optron) skupiny 4. Je pouzřen v plastickém pouzdru s barevným označením modrou tečkou na čele pouzdra. Výrobcem je podnik Tesla Blatná. Obvod se vyznačuje následujícími parametry:

A. Vysílač (GaAs infračervená LED) při $+25^\circ\text{C}$:

- maximální trvalý proud v propustném směru ... $I_{F, \text{max}} = 30 \text{ mA}$;
- impulsní propustný proud (doba trvání impulsu max. 100 μs) ... $I_{FRM} = 1,5 \text{ A}$;
- napětí v propustném směru (při $I_F = 30 \text{ mA}$) ... $U_F \leq 1,7 \text{ V}$;
- napětí v závěrném směru (při $I_R = 100 \mu\text{A}$) ... $U_R \leq 3 \text{ V}$.

B. Přijímač (Si npn fototranzistor) při $+25^\circ\text{C}$:

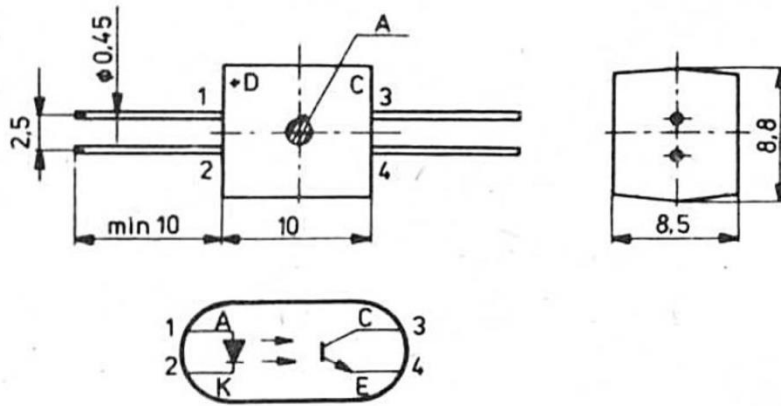
- napětí kolektor-emitor (při $I_C = 100 \mu\text{A}$, $I_F = 0$) ... $U_{CE,0} \geq 20 \text{ V}$;
- proud za tmy (při $U_{CE} = 30 \text{ V}$, $I_F = 0$) ... $I_{C,0} \leq 100 \text{ nA}$;
- maximální kolektorová ztráta ... $P_{C, \text{max}} = 50 \text{ mW}$;
- saturační napětí (při $I_C = 0,2 \text{ mA}$, $I_F = 30 \text{ mA}$) ... $U_{CE, \text{sat}} \leq 0,4 \text{ V}$,

C. Vazební člen jako celek při $+25^\circ\text{C}$:

- přenosový poměr (při $I_C > 5 \text{ mA}$) ... $CTR = 100 \cdot I_C/I_F \geq 50 \%$;
- isolační napětí ... $U_{IORM} = 4 \text{ kV ss}$;
- ztrátový výkon ... $P_{\text{tot}} = 100 \text{ mW}$;

- isolační odpor ... $R_{IO} \geq 1 \text{ G}\Omega$;
- kapacita vstup-výstup ... $C_{IO} \leq 0,5 \text{ pF}$;
- doba náběhu (při $I_{on} = 1 \text{ mA}$, $U_{CE} = 6 \text{ V}$, $R_L = 100 \Omega$) ... $t_r \leq 15 \mu\text{s}$;
- doba doběhu (při $I_{on} = 1 \text{ mA}$, $U_{CE} = 6 \text{ V}$, $R_L = 100 \Omega$) ... $t_f \leq 15 \mu\text{s}$.

Pouzdro a vnitřní zapojení optronu Tesla WK 164 12-4 (na posici A je modrá tečka):



4. Postup měření

1) Měření V-A charakteristiky vysílače

- 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 přiloženého schématu obvod pro měření parametrů optoelektronického vazebního členu.
- Zkontrolujeme, zdali máme všechny přístroje přepnuté do režimu simulace.
- Spustíme běh simulace činnosti obvodu. Sepneme spínač S_1 , spínač S_2 rozepneme.
- Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujeme podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenáváme příslušné úbytky napětí $U_{F,sim}$ vznikající na diodě vysílače. Proud $I_{F,sim}$ a napětí $U_{F,sim}$ odečítáme přímo na multimetru. Po odměření ukončíme režim simulace.
- Připojíme k rozhraní myDAQ přípravku s optronem. Na přípravku sepneme spínač S_1 do polohy „1“, spínač S_2 do polohy „0“. Spustíme režim on-line měření.
- Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujeme podle tabulky anodový proud $I_{F,skut}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenáváme příslušné úbytky napětí $U_{F,skut}$ vznikající na diodě vysílače. Proud $I_{F,skut}$ a napětí $U_{F,skut}$ odečítáme přímo na multimetru. Po odměření ukončíme režim on-line měření.
- Všechny změřené hodnoty vyneseme do společného grafu. Určíme prahové napětí U_{T0} diody vysílače. Porovnáme průběhy simulované a reálné V-A charakteristiky diody vysílače, rozdíly se pokusíme vysvětlit.

2) Měření spínacího proudu I_{GT} a napětí U_{GT} řídicí elektrody

- Zapneme režim simulace. Spínač S_1 necháme sepnutý, spínač S_2 rozpojený.
- Regulací odporových trimrů R_1 (hrubé nastavení) a R_2 (jemné nastavení) postupně nastavujeme podle tabulky anodový proud $I_{F,sim}$ tekoucí diodou vysílače optronu a zaznamenáváme kolektorový proud $I_{C,sim}$ tekoucí tranzistorem přijímače. Proud $I_{F,sim}$ odečítáme přímo na multimetru, proud $I_{C,sim}$ odečítáme nepřímo jako úbytek napětí na odporu $10\ \Omega$ (pomocí osciloskopu). Po odměření ukončíme režim simulace.
- Měření podle bodu 2b provedeme v režimu on-line měření. Po odměření ukončíme on-line režim.
- Vyneseme do společného grafu simulovanou a reálně odměřenou přenosovou charakteristiku optronu, tj. závislost $I_C = f(I_F)$ a $CTR = f(I_F)$. Hodnotu proudového přenosového poměru CTR porovnáme s katalogem.

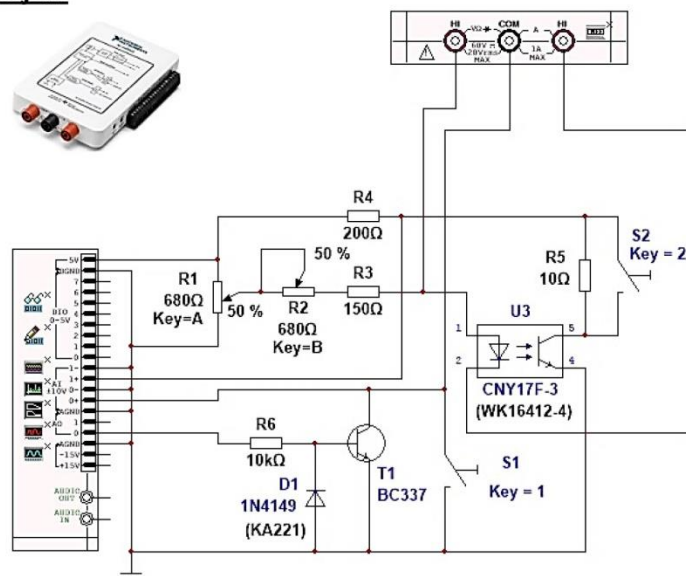
3) Měření závislosti ss propustného napětí U_T na anodovém proudu I_T

- Spustíme režim simulace. Spínač S_1 rozepneme, S_2 sepneme. Funkční generátor nastavíme na TTL výstup s kmitočtem 1 kHz.
- Pomocí dvoukanálového osciloskopu změříme dobu náběhu impulsu $t_{r,sim}$, dobu doběhu impulsu $t_{f,sim}$ a saturační napětí $U_{CE,sat,sim}$. Po odměření ukončíme režim simulace.
- Spustíme režim on-line měření. Pomocí osciloskopu myDAQ změříme dobu náběhu impulsu $t_{r,skut}$, dobu doběhu impulsu $t_{f,skut}$ a saturační napětí $U_{CE,sat,skut}$.

4) Měření časových průběhů

- V režimu on-line měření zaznamenáme a jako přílohu k protokolu vložíme oscilogramy napěťových průběhů na vstupu optronu (TTL generátor) a výstupu optronu (výstup nezatížen). Kmitočet generátoru volíme rovný 1 kHz.
- Ukončíme režim myDAQ (on-line měření), vypneme program Multisim, odpojíme z USB konektoru rozhraní myDAQ a odpojíme měřicí přípravek od rozhraní.

5. Schéma zapojení



~ 4 ~

6. Seznam použitých přístrojů

- měřicí rozhraní National Instruments myDAQ s přenosným počítačem;
- měřicí přípravek s optoelektronickým vazebním členem.

7. Tabulky hodnot

1) Měření V-A charakteristiky vysílače (IČ GaAs diody)

Režim simulace (optron CNY 17F-3)														
I_F [mA]	0	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_F [mV]	0													

$$U_{T0,sim} = \dots V$$

On-line režim (optron WK 164 12-4)														
I_F [mA]	0	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_F [mV]	0													

$$U_{T0,skut} = \dots V$$

2) Měření přenosové charakteristiky

Režim simulace (optron CNY 17F-3)														
I_F [mA]	0	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
I_C [mA]														
CTR [%]														

On-line režim (optron WK 164 12-4)														
I_F [mA]	0	0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
I_C [mA]														
CTR [%]														

3) Měření doby náběhu, doby doběhu a saturačního napětí

Měřený parametr	Režim simulace (optron CNY 17F-3)	On-line režim (optron WK 164 12-4)
t_f [μs]		
t_r [μs]		
$U_{CE,sat}$ [V]		

8. Příklad výpočtu

$$CTR = \frac{I_F}{I_C} \cdot 100 = \frac{\dots}{\dots} \cdot 100 = \dots \%$$

9. Grafy hodnot

Do příloh vložte následující položky:

- V-A charakteristiku vysílače optronu CNY 17F-3 a WK 164 12-4 (obojí do jednoho grafu).
- Přenosovou charakteristiku, tj. závislost $I_C = f(I_F)$ a $CTR = f(I_F)$ pro oba optrony (vše do společného grafu).
- Zaznamenané oscilogramy průběhů napětí TTL generátoru a kolektorového napětí optronu CNY 17F-3 a WK 164 12-4 pro kmitočet 1 kHz.

10. Závěr

Proveďte porovnání doby náběhu, doby doběhu, přenosového poměru a saturačního napětí optronu Tesla WK 164 12-4 s katalogem výrobce a vyjádřete se ke kvalitě optronu. Zhodnoťte, zda je optron CNY 17F-3 vhodný jako náhrada optronu WK 164 12-4.