

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Automatické měření zdroje
Rohde & Schwarz

Sezimovo Ústí, 2019

Autor: Tomáš Pešel



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Tomáš Pešel**
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy
Název práce: **Automatické měření zdroje Rohde & Schwarz**
Anglický název práce: **The automatic measurement of the source from Rohde & Schwarz**

Zásady pro vypracování:

1. Popište problematiku automatického měření elektricky řízených zdrojů.
2. Navrhněte a nasimulujte elektrický obvod pro automatické měření zdroje HM8143.
3. Navrhněte plošný spoj pro tento obvod a vytvořte dokumentaci pro jeho výrobu.
4. Navrhněte box pro plošný spoj a vytvořte dokumentaci pro jeho výrobu.
5. Konečný produkt aplikujte do měřicího pracoviště a vytvořte měřicí program pro testování a ISO kalibrace výše uvedeného zdroje dle interních dokumentů, dále jej otestujte a odstraňte případné nedostatky.
6. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.


Doporučená literatura:

- [1] SROVNAL, Vilém. *Elektrotechnická měření: Měřicí přístroje*. Praha 4: Informatorium spol., 2008.
[2] BEZDĚK, Miroslav. *Elektronika 1*. Příbram: PBTisk, 2005.

Vedoucí práce: Ing. Antonín Juránek, VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Dr. Martin Satorie Rohde & Schwarz s.r.o., Vimperk
Oponent práce: Mgr. Bc. Miroslav Hospodářský VOŠ, SŠ, COP,
Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **3. 9. 2018**

Datum odevzdání absolventské práce: **10. 5. 2019**


.....
Ing. Antonín Juránek
(vedoucí práce)


.....
V Sezimově Ústí dne **3. 9. 2018**
(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne 17. 4. 19



podpis

Poděkování

Děkuji především vedoucímu absolventské práce Ing. Antonínu Juránkovi, nejen za technickou podporu, ale i za trpělivost a vstřícnost. Dále poděkování patří Dr. Martinovi Satoriemu, jakožto odbornému konzultantovi. V této souvislosti také firmě Rohde & Schwarz za umožnění tuto práci realizovat. Poděkování také patří Ing. Jiřímu Masákovi a Ing. Vladimírovi Markovi za technickou podporu a konzultaci. Zvláštní poděkování za pomoc se SW a zajímavou spoluprací patří Ing. Václavovi Královi. V neposlední řadě škole- Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí- jmenovitě Ing. Václavovi Šedivému a Mgr. Bc. Miroslavu Hospodářskému za to, že mně inspirovali k tomuto tématu. Největší poděkování patří mé ženě a dětem za podporu, toleranci, trpělivost, obětování se a zbylé rodině za podporu.

Anotace

Absolventská práce se zabývá návrhem adaptéru na automatické měření a ISO kalibraci zdroje produkce Rohde & Schwarz. Tento adaptér propojuje měřený zdroj s měřicími a testovacími přístroji, je řízen PC a nahrazuje práci člověka. Dále se práce zabývá metodami měření, měřenými veličinami a stanovením jejich mezí. Součástí projektu je také měřicí program, který ovládá adaptér, měřicí a testovací přístroje a sbírá z nich data. Výsledkem je ISO kalibrační protokol.

Klíčová slova: adaptér; automatické měření; ISO kalibrační norma 17025; kalibrační protokol; zdroj; měřené veličiny; nejistota měření; stanovené meze; návrh zapojení; návrh plošného spoje.

Annotation

The graduate thesis deals with the design of an adapter for automatical measurement of power supply HM8143 which is produced by Rohde & Schwarz. This adapter connects the device under test (DUT) with the measuring and test instruments, it is controlled by a computer and substitutes the work of a man. The thesis also deals with measurement methods, measured values and determination of their limitation. The part of the project is also the measuring programme. This programme controls the adapter, the measuring and test instruments and collects the data from them. The result is ISO calibration protocol.

Key words: Adapter; automatical measurement; ISO calibration norm 17025; calibration protocol; power supply; measured values; measurement uncertainty; set limits; circuit design; design of printed circuit.

Obsah

Seznam použitých symbolů	ix
Seznam obrázků	xi
Seznam tabulek	1
0.1 Záměr	1
0.2 Měření a testované parametry HM8143	2
0.3 Parametry HM8143:	2
0.4 Měřicí plán	3
0.5 Cíl	4
0.6 Rozbor dvou konceptů adaptéru	5
0.7 Měřicí pracoviště	6
0.8 Návrh měřicího adaptéru- blokové schéma	16
0.9 Návrh měřicího adaptéru- elektrické schéma	19
0.10 Návrh měřicího adaptéru- plošný spoj	25
0.11 Návrh měřicího adaptéru-box	26
0.12 Závěr	27
Literatura	29
A Obsah příloženého CD/DVD	I
B Použitý software	III
C Časový plán absolventské práce	V

Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
i	elektrický proud	A
f	frekvence	kHz
P	výkon	W
u	elektrické napětí	V
V_{pp}	napětí (peak to peak)	V

Seznam obrázků

1	Srovnání konceptů	4
2	Návrh měřicího pracoviště	6
3	Parametry bočníku	7
4	Instalace bočníku	8
5	DC parametry multimetru	9
6	Rovnice	11
7	Voltage setting	12
8	Current readback	12
9	Voltage measured	13
10	Current measured	13
11	Modulovaný signál	14
12	Výsledek modulace	14
13	Arbitrary funkce	15
14	Cleware	16
15	Stíněný LiYCY kabel	17
16	Blokové schéma	18
17	Principiální zapojení	19
18	Spínání tranzistoru	20
19	Měření teploty	21
20	Kontaktní schéma	23
21	Princip spínání relé	23
22	Stabilizátor a řízení	24
23	Návrh plošného spoje	25
24	Návrh boxu	26

0.1 Záměr

Záměrem práce je automatické měření a ISO kalibrace regulovatelného zdroje produkce Rohde & Schwarz vs. ruční měření.

Jedná se o tři kanálový regulovatelný lineární zdroj. Ch1 a Ch3 jsou regulovatelné se základními parametry: 0 - 30V / 0 - 2A. Ch2 je neregulovatelný a jeho parametry jsou 5V/2A.

Další funkce jsou:

elektronická zátěž

modulační vstupy (s tří násobícím faktorem)

arbitrary funkce (možnost generovat funkční signál např. sin.)

Tovární označení tohoto zdroje je HM8143 (dále jen HM8143).

Problematika ručního měření (zároveň důvod pro výrobu tohoto adaptéru) je především velice omezená možnost vystavení ISO kalibračního protokolu pro zákazníka.

Ruční měření je neefektivní nejen z časového hlediska, ale musíme zde zohlednit i „lidský faktor“. Člověk může (chtěně nebo nechtěně) přehlédnout přesnou hodnotu měřené veličiny. Z tohoto důvodu je toto (často triviální měření) a vystavení ISO kalibračního protokolu svěřeno pouze kvalifikovanému a oprávněnému pracovníkovi. Čas takového pracovníka je ale příliš vzácný a drahý.

Automatické měření tyto problémy odstraňuje. Nejen že díky automatickému měření nebude zapotřebí kvalifikovaného pracovníka, ale dále se zkrátí i samotná doba měření. Člověku tato činnost zabere cca 45 min. Předpokládaná doba automatického testování je cca 15 min. Navíc počítač, lépe řečeno program (který bude měřící adaptér ovládat a který bude generovat ISO protokol) je v rozhodování nekompromisní.

Úskalí ale jsou:

Investice do času a materiálu pro vývoj a realizaci HW a SW. Z finančního hlediska je nutná rentabilita. Bylo tedy nutné vypracovat finanční odhad, který potvrdil, že výroba adaptéru bude rentabilní. Tudíž je automatické měření po všech stránkách správná cesta.

0.2 Měření a testované parametry HM8143

Aby bylo možno navrhnout a zkonstruovat adaptér, který by řešil problematiku (viz. Téma), je nutné přesně znát testované a měřené parametry HM8143.

Tyto parametry jsou stanovené datascheetem HM8143 a konkrétní měřené hodnoty jsou stanoveny dle vnitřních předpisů Rohde&Schwarz a zároveň ISO normou. Jsou uvedeny v kapitole Návrh měřicího pracoviště- Nejistoty měření

ISO kalibrační norma rovněž určuje podmínky pro měření:

např. prostředí, přesnost měření, okolní teplotu. . .

Na základě těchto informací je nutné stanovit typy přístrojů, kterými je možné měřit (zejména pro jejich přesnost) a dále měřící postup.

Vzhledem k tomu že typy přístrojů již byly stanoveny v předpisu pro ruční měření, zabýval jsem se zejména novým postupem tak, aby byl co nejefektivnější. Tzn. minimum lidské práce a zrychlení celkového času na měření HM8143. Zpět k parametrům HM8143.

0.3 Parametry HM8143:

- 2 x 0-30V / 0- 2A; 1 x 5V / 0-2A
- Rozlišení displeje 10mV / 1 mA
- Elektronická zátěž až 60W na kanál (max. 2A)
- Zdroj Libovolného tvaru signálu (4096 bodů, 12 bit): (Vytváření a dálkové ovládání pomocí „Waveforms Software“)
- Elektronická pojistka a Tracking Mode
- Výstup externí modulace o napětí max. 30V: Vstupní napětí 0 -10V, šířka pásma 50kHz
- SENSE Svorcky pro kompenzaci poklesu napětí o úbytek na kabelech
- Galvanicky oddělené rozhraní USB / RS-232, nebo IEEE-488 formou opce

0.4 Měřící plán

Zjištění parametrů bylo nutné nejen pro návrh adaptéru (jeho správné dimenzování, teplotní stabilizaci, návrh plošného spoje, výkonnost součástek atd.), ale i pro stanovení měřicího plánu. Zde bude uvedena pouze posloupnost měření a testování. Jednotlivé body budou podrobněji rozepsány a odůvodněny v dalších kapitolách.

Posloupnost měření a testování

Pro servisní účely bude eventuálně možné před samotným testováním např. nastavit arbitrary funkce a testovat další parametry, které není z hlediska ISO kalibrací nutné měřit. Testovací adaptér musí s parametry počítat, ale program jednotlivé kroky může vynechat v případě, že nejsou nezbytné pro ISO kalibrační normu. Tím bude adaptér připraven i pro případné rozšíření. Uvedu kompletní seznam kroků (včetně servisních) s případnou poznámkou: *možno vynechat*

1. Nastavení (technik pro servisní účely posoudí individuálně, které konkrétní parametry je potřeba nastavovat) *možno vynechat*
2. Zkratování všech 3 kanálů + test funkčnosti ventilátoru *možno vynechat*
3. Měření napětí na prázdko.
4. Měření napětí při zatíženém zdroji- (svorky SENSE). *možno vynechat*
5. Funkce „READBACK“pro napětí- (vyčtená hodnota z HM8143)
6. Testování „OVP“ *možno vynechat*
7. Měření proudu (na prázdko)
8. Funkce „READBACK“pro proud- (vyčtená hodnota z HM8143)
9. Elektronická zátěž
10. Funkce elektronické pojistky *možno vynechat*
11. Modulační funkce *možno vynechat*
12. Testování 3x násobící faktor *možno vynechat*
13. Testování přepínání do modu Arbitrary *možno vynechat*
14. Zkouška, zda přístroj udrží nastavené hodnoty+ tovární nastavení *možno vynechat*

Pro vystavení ISO kalibračního protokolu budou nutné kroky : 3, 5, 7,8 a 9.

0.5 Cíl

Cílem je navrhnout a vyrobit adaptér pro automatické měření HM8143 a optimalizovat měřící proces na pracovišti.

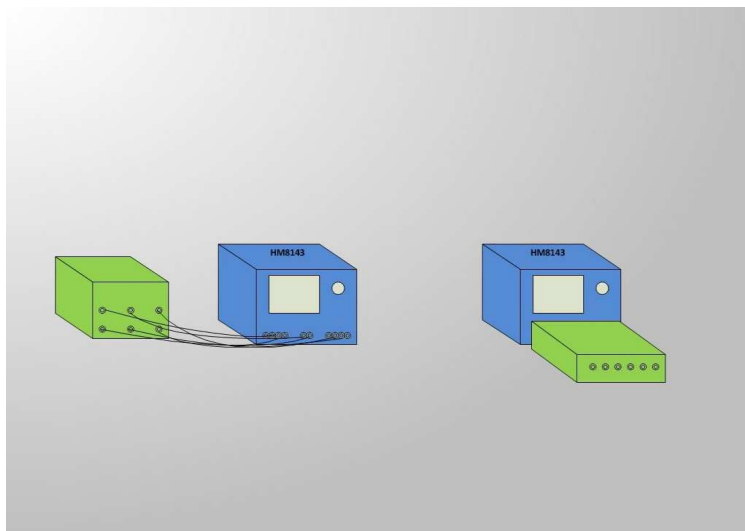
Defacto je potřeba tímto adaptérem plně nahradit práci člověka a vhodně jej zakomponovat do již vybaveného měřícího pracoviště.

Protože měřicí přístroje byly již definovány a nakoupeny za účelem předchozího ručního měření, nový adaptér bude muset být s těmito přístroji kompatibilní. Především tedy bude muset být realizovaný tak, aby bylo možné vše ovládat přes jeden řídicí program.

Zároveň jeho rozměry budou muset být dostatečně malé, aby mohl být použit na existujícím pracovišti, ale tím nesmí být ovlivněna jeho výkonnost.

Pro celkovou optimalizaci tohoto pracoviště beru v úvahu dva rozdílné koncepty-

- 1.) Měřicí adaptér se bude zasouvat přímo do měřeného zdroje.
- 2.) Měřicí adaptér bude součástí existujícího pracoviště a s testovaným zdrojem bude propojen kabely. (Tento koncept vyhrál). Srovnání (viz obr. 1)



Obrázek 1: Srovnání konceptů

0.6 Rozbor dvou konceptů adaptéru

1. Koncept- přípravek se zasouvá přímo do měřeného zdroje

Výhody:

Tento koncept částečně eliminuje ztráty na vedení (především přechodový odpor). S tím souvisí nutnost kompenzace vedení. (Je nutné tyto úbytky změřit a odečíst od výsledných hodnot, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího výsledku). Další výhodou předpokládáme úsporu místa na pracovišti, protože by přípravek nezabíral žádnou plochu na stole a byl by do určité míry mobilní.

Nevýhody:

Bohužel šetření plochou v tomto případě není na místě, protože je předpoklad, že se přípravek bude zahřívat a bude zapotřebí chlazení.

2. Koncept je zařízení součástí měřícího pracoviště

Výhody:

Jak je již zmíněno výše, zde je velmi podstatnou výhodou prostor pro chlazení. Další výhodou je možnost hmotností přípravku nezatěžovat přímo konektory měřeného zdroje, ale pouze stůl, nebo stojan. Předchozí koncept by zřejmě působil pákou na konektory a vznikalo by nežádoucí mechanické namáhání materiálu. Další výhodou se ukazuje i stabilní místo adaptéru zabudovaného v měřícím pracovišti. Stabilní podmínky a poloha adaptéru jsou příznivé na spolehlivost.

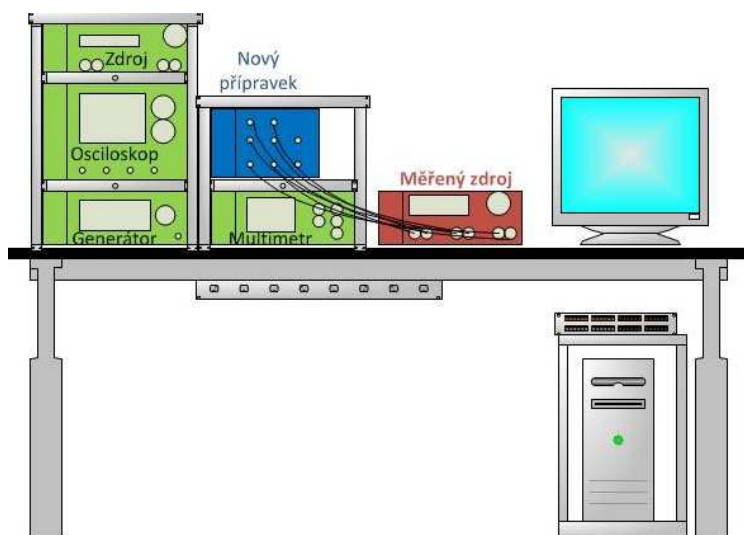
Nevýhody:

Jedinou, ne však neřešitelnou nevýhodou, je potřeba kompenzovat ztráty na vedení. Z těchto důvodů jsem se tedy přiklonil k této „pevně zabudované“ verzi na měřícím pracovišti.

0.7 Měřicí pracoviště

Návrh měřicího pracoviště

Po zjištění všech měřených veličin a jejich velikostí, sestavení měřicího plánu a po rozboru dvou možných konceptů adaptéru, jsem konečně mohl přistoupit k vlastnímu návrhu pracoviště i přípravku. Jako pomůcku k zpracování jsem si vytvořil grafické znázornění měřicího pracoviště, rozšířené o navrhovaný přípravek. (viz obr.2) Součástí návrhu měřicího pracoviště byl požadavek na maximální možné využití současných přístrojů (z finančního hlediska). To posloužilo k představě o celkovém zapojení.



Obrázek 2: Návrh měřicího pracoviště

Měřicí přístroje a příslušenství

Pro měření a kalibrace je nutné použít měřicí přístroje s platnou DKD kalibrací a s dostatečnou třídou přesnosti. Zároveň musí být i vhodná měřicí metoda a stanoveny odchylky měřených hodnot. Jedině tak lze zákazníkovi vystavit platný kalibrační protokol a certifikát s deklarovanými naměřenými hodnotami, podléhající normě ISO 17025. Jelikož z předchozího měření nebylo možno získat platný protokol, bylo nutné ověřit zda použité přístroje jsou dostatečně přesné a vhodné pro oficiální vystavení kalibračního protokolu. DKD kalibrace ověřuje přesnost měřicího přístroje pro použití ke kalibračním účelům.

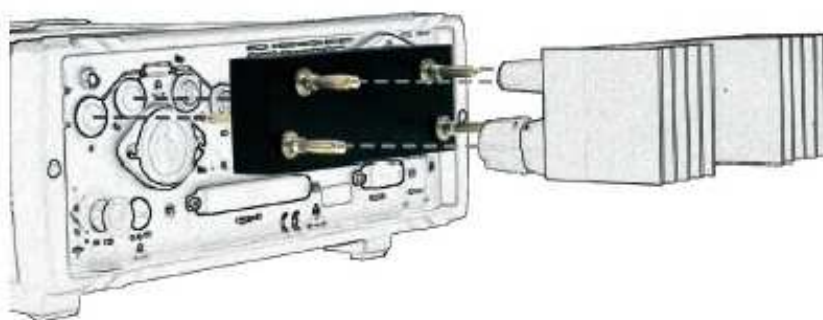
1. Multimetr (+ příslušenství)

Bude použit multimetr HEWLETT PACKARD 34401A (+ příslušenství) pro měření stejnosměrného napětí a proudu. Příslušenstvím bude externí bočník firmy BURSTER, model 1240-0.01 . Opět z finančních důvodů bude přenosný. Adaptér tudíž bude navržen tak, aby se dal jednoduše vyjmout. Jelikož se jedná o přesný etalon, který musí být s DKD kalibrací (rovněž jako multimetr), je žádoucí, aby bylo možné jej po dobu jeho kalibrace nahradit. V návrhu adaptéru jsem musel pracovat nejen s jeho elektrickými parametry (viz obr.3), ale i s jeho instalací (viz obr.4)

Model	Resistance value* (R)	Tolerance ± %	Feed line resistance R_L	Resistivity material	Max. current in air*	Nomial voltage at voltage taps	Storage stability typ./year	Meas. current for test certificate	
1240-0.000010	10 $\mu\Omega$	1	≤ 0.6 m Ω	MANGANIN® sheet	60 A	0.6 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.000025	25 $\mu\Omega$	1	≤ 0.6 m Ω		60 A	1.5 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.000050	50 $\mu\Omega$	1	≤ 0.8 m Ω		60 A	3 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.0001	100 $\mu\Omega$	0.1	≤ 1.5 m Ω		60 A	6 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.0002	200 $\mu\Omega$	0.05	≤ 1.5 m Ω		60 A	12 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.0005	500 $\mu\Omega$	0.05	≤ 1.5 m Ω		60 A	30 mV	$< 4 \times 10^{-4}$	19 A	
1240-0.001	1 m Ω	0.05	≤ 4 m Ω		30 A	30 mV	$< 5 \times 10^{-5}$	9 A	
1240-0.002	2 m Ω	0.05	≤ 4 m Ω		30 A	60 mV	$< 5 \times 10^{-5}$	9 A	
1240-0.005	5 m Ω	0.05	≤ 4 m Ω		20 A	100 mV	$< 5 \times 10^{-5}$	6 A	
1240-0.01	10 m Ω	0.03	≤ 5 m Ω			14 A	140 mV	$< 5 \times 10^{-5}$	6 A

Obrázek 3: Parametry bočníku

Z tohoto vyplývá, že po odečtení numerické hodnoty z multimetru, se hodnota vydělí deseti a výsledek se zapíše v jednotkách ampéru. Dále tedy byly stanoveny meze měřených hodnot pro napětí a proud.



Obrázek 4: Instalace bočnicku

Dále bylo nutné zjistit DC parametry multimetru (viz obr.5)

■ DC Characteristics

Accuracy Specifications \pm (% of reading + % of range) [1]						
Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23°C \pm 1°C	90 Day 23°C \pm 5°C	1 Year 23°C \pm 5°C	Temperature Coefficient /°C 0°C – 18°C 28°C – 55°C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
Resistance [4]	100.0000 Ω	1 mA	0.0030 + 0.0030	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004	0.0006 + 0.0005
	1.000000 k Ω	1 mA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	10.00000 k Ω	100 μ A	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	100.0000 k Ω	10 μ A	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	1.000000 M Ω	5 μ A	0.002 + 0.001	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0010 + 0.0002
	10.00000 M Ω	500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.0030 + 0.0004
	100.0000 M Ω	500 nA 10 M Ω	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
DC Current	10.00000 mA	< 0.1 V	0.005 + 0.010	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.002 + 0.0020
	100.0000 mA	< 0.6 V	0.01 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.002 + 0.0005
	1.000000 A	< 1 V	0.05 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.005 + 0.0010
	3.000000 A	< 2 V	0.10 + 0.020	0.120 + 0.020	0.120 + 0.020	0.005 + 0.0020
Continuity	1000.0 Ω	1 mA	0.002 + 0.030	0.008 + 0.030	0.010 + 0.030	0.001 + 0.002
Diode Test [12]	1.0000 V	1 mA	0.002 + 0.010	0.008 + 0.020	0.010 + 0.020	0.001 + 0.002
DC:DC Ratio	100 mV to 1000 V		(Input Accuracy) + (Reference Accuracy) <i>Input Accuracy</i> = accuracy specification for the HI-LO input signal. <i>Reference Accuracy</i> = accuracy specification for the HI-LO reference input signal.			

Obrázek 5: DC parametry multimetru

Výpočet nejistoty měření

Výpočet podléhá normě ČSN EN 60359 (r.2003) – ELEKTRICKÁ A ELEKTRO-TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ A JEJICH VLASNOSTI (Norma se zabývá digitálními i analogovým přístroji) Udává nejistoty měření typu „A“ a typu „B“

„A“ : zjišťují se analýzou (opakovaná měření). Firma Rohde&Schwarz výpočet pro tento typ nejistot zanedbává a eliminuje ji průměrem z naměřených hodnot.

„B“ : ostatní- přesnost měřicího přístroje, rušivé procesy, nejistoty způsobené měřicí metodou... Nejistoty měřicích přístrojů uvádí výrobce v jednotkách % z daného rozsahu. Touto se budu zabývat zde.

Výpočet nejistoty měření

Pro výpočet nejistot měření je celá řada pravidel a jedná se samostatnou disciplínu. Výsledkem výpočtu pro složitější aplikace (zejména v případě, kde musíme započítat přechodové děje, vliv teploty atd., nebo kde se jedná o velmi přesné měření a výslednou nejistotu je potřeba zcela minimalizovat), je diskuze odborníků a každý odborník zřejmě dojde nepatrně odlišnému výsledku.

Zde uvedu pouze pravidla související s touto prací. I přesto, že se jedná o relativně jednodušší aplikaci, výpočet není jednoduchý a jedná se o jeden z hlavních přínosů této práce.

Výpočet nejistoty typu „B“ se dělí v závislosti, zda byla použita přímá, nebo nepřímá měřicí metoda.

Pro měření napětí jsem zvolil přímou metodu a pro měření proudu nepřímou. Tím jsem dosáhl větší přesnosti. Protože z principu digitálního měřicí přístroje je známo, že skutečně měří pouze napětí a proud vypočítává z úbytku napětí na vnitřním bočníku- (tj. přesný rezistor známé hodnoty odporu o malé hodnotě), je patrné, že použitím výrazně přesnějšího externího bočníku, se naměřená hodnota také zpřesní.

Další pravidlo pro výpočet nejistoty měření plyne z „Rozdělení pravděpodobností“, kde se rozptýlení hodnot může vyskytovat. Protože byl použit digitální přístroj, je rozdělení rovnoměrné.

- Více nalezneme v knize (SROVNAL, V. a KOL. ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ, 2008)

Rovnice

Pravidla pro rozdělení a rovnice pro výpočet nejistot jsem našel na:
 (<<http://ach.upol.cz/user-files/intranet/06-nejistota-1417542574.pdf/>>)

Matematické rovnice pro výpočet nejistot (viz obr.6).
 (Zdrojem pro následující obrázku je původní textový soubor v MS Word- součást příloh)

Matematický vzorec pro výpočet nejistoty měření typu B pro napětí (přímé měření)

$$U_x = \frac{\frac{\delta_1}{100} X + \frac{\delta_2}{100} M}{\sqrt{3}}$$

Matematický vzorec pro výpočet nejistoty měření typu B pro proud (nepřímé měření)

$$I_x = 2 * \sqrt{\left(\frac{\frac{\frac{\delta_1}{100} X + \frac{\delta_2}{100} M}{\sqrt{3}}}{R_{shunt}}\right)^2 + \left(\frac{X}{R_{shunt}^2} * \left(\frac{R_{shunt}}{100} * \frac{shunt\%err}{\sqrt{3}}\right)\right)^2}$$

Kde:

- δ_1 je chyba z naměřené hodnoty
- δ_2 je chyba z rozsahu
- X je naměřená hodnota [V]
- M je zvolený rozsah [V]
- $\sqrt{3}$ je koeficient plynoucí z pravidel pro výpočet nejistot
- R_{shunt} je nominální hodnota bočnicku
- $shunt\%err$ je přesnost bočnicku získaná z datasheetu

Obrázek 6: Rovnice

Takto by se postupně vypočítaly nejistoty pro každou požadovanou měřenou hodnotu. V případě tzv. readbacku (kdy se hodnoty odečítají z měřeného přístroje a ne z měřicího), se ještě k této nejistotě přičte i stejným způsobem získaná nejistota právě z měřeného přístroje. Pro výpočet všech konkrétních měřených hodnot byly sestaveny šablony v MS Excel. **Příklad kalibračního protokolu pro měření napětí** (viz obr.7 a 8).

Protokol měření napětí- „VOLTAGE SETTING“					
Setting on DUT	Lower Limit	Measured	Upper Limit	Uncertainty	Pass / Fail
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	
0,00	-0,035000	0,030000	0,035000	0,000006	Pass
1,00	0,96480	1,00000	1,03520	0,00010	Pass
5,00	4,96400	5,00000	5,03600	0,00026	Pass
10,00	9,96300	10,00000	10,03700	0,00046	Pass
15,00	14,96200	15,00000	15,03800	0,00066	Pass
20,00	19,96100	20,00000	20,03900	0,00087	Pass
25,00	24,96000	25,00000	25,04000	0,0020	Pass
30,00	29,95900	30,00000	30,04100	0,0023	Pass

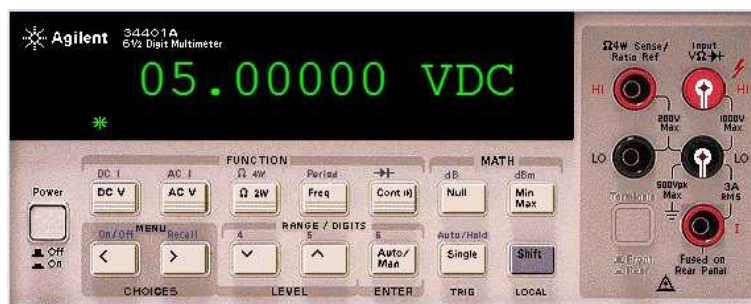
Obrázek 7: Voltage setting

Protokol vyčteného proudu „CURRENT RADBACK“					
Measured	Lower Limit	Indicated on DUT	Upper Limit	Uncertainty	Pass / Fail
[A]	[A]	[A]	[A]	±[A]	
-2,000	-2,03540	-2,00000	-1,96460	0,01734	Pass
-1,500	-1,53530	-1,50000	-1,46470	0,01733	Pass
-1,000	-1,03520	-1,00000	-0,96480	0,01733	Pass
-0,500	-0,53510	-0,50000	-0,46490	0,01733	Pass
0,001	-0,03400	0,00110	0,03600	0,01733	Pass
0,500	0,46490	0,50000	0,53510	0,01733	Pass
1,000	0,96480	1,00000	1,03520	0,01733	Pass
1,500	1,46470	1,50000	1,53530	0,01734	Pass
2,000	1,96460	2,00000	2,03540	0,01734	Pass

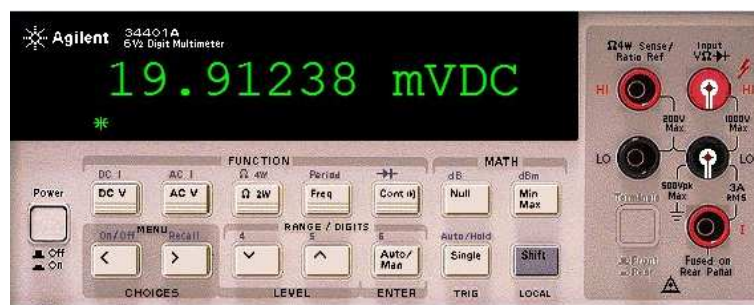
Obrázek 8: Current readback

Měření na multimetru

Ilustrativní příklad výsledků měření napětí [V] (viz obr.9) a proudu nepřímou metodou (numerická hodnota se vydělí deseti a zapíše v jednotkách ampér) [A] (viz obr.10). (Obrázky jsou ze simulačního programu Multisim)



Obrázek 9: Voltage measured

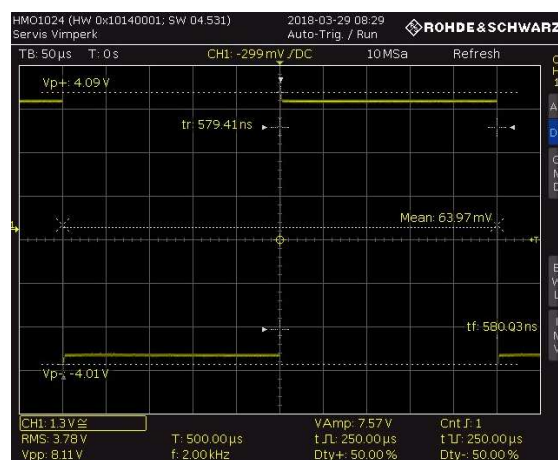


Obrázek 10: Current measured

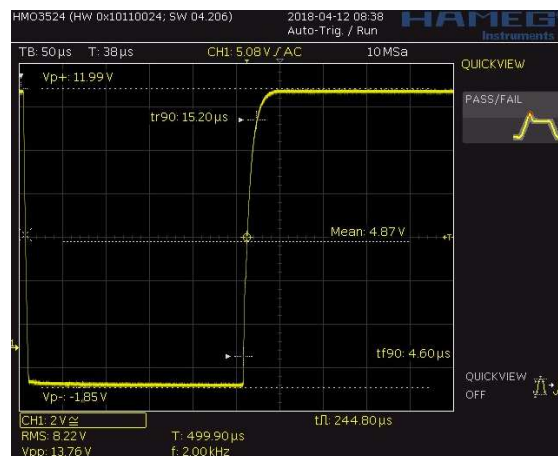
Externí zdroj

Bude použit **Rohde & Schwarz HMC 8043**. Externí zdroj bude k zapotřebí k ověření funkce elektronické zátěže. Zdroj nemusí být ověřen DKD kalibrací, protože skutečná hodnota proudu je ověřena multimetrem.

Osciloskop Bude použit **Rohde & Schwarz HMO 1024** Osciloskop bude potřeba pro měření modulační a arbitrary funkce. Pro ověření modulační je jako vstupní signál předepsán obdélníkový signál o frekvenci 2kHz, amplitudě 8Vpp +/- 0.2V, offset 0V, duty cycle 50% (viz obr.11). Tento signál se zde zároveň ověřuje před začátkem měření a jeho zdrojem je generátor tvarových signálů. Výstupní signál z HM8143 musí jiný tvar. Zde je především hlídána náběžná hrana- konkrétně čas jejího náběhu, který musí být menší než 20 mikro sekund (viz obr.12).



Obrázek 11: Modulovaný signál

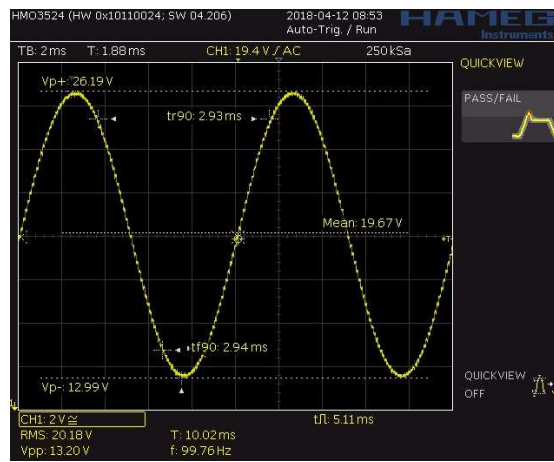


Obrázek 12: Výsledek modulační

Ověření arbitrary funkce

Zde je signál generován digitálně pomocí dvanácti bitového převodníku. Proto je jeho kvalita nízká a ověřuje se pouze jeho přítomnost, tvar, správná amplituda a frekvence. Těmi jsou v tomto případě 13V_{pp}/100Hz/13V offset.

Jelikož se jedná o doplňkové měření, pro servisní účely a nepodléhá ISO kalibrační normě, osciloskop nemusí být ověřen DKD kalibrací. (viz obr.13)



Obrázek 13: Arbitrary funkce

Generátor tvarových signálů Bude použitý generátor **Rohde & Schwarz HMF 2050**, který je zapotřebí kvůli modulační funkci měřeného zdroje. Pomocí něj přivedeme na MOD. vstup 1 a MOD. vstup 2 obdélkový signál- viz výše. Jelikož se jedná o doplňkové měření, pro servisní účely a nepodléhá ISO kalibrační normě, generátor nemusí být ověřen DKD kalibrací.

PC Nedílnou součástí celého pracoviště je také PC. Potřebuje ho k chodu programu. Přes PC bude ovládán přípravek, ale i měřicí přístroje a měřený přístroj. Měřicím přístrojům dává pokyny jaké veličiny a jakým způsobem se mají měřit. Řídí také např. jejich měřicí rozsah. Ze všech přístrojů sbírá data, porovnává je s předpokládanými a vyhodnocuje. Na tomto základě generuje výsledný kalibrační protokol v PDF formátu.

0.8 Návrh měřicího adaptéru- blokové schéma

Jednotlivé bloky

Na tomto základě bylo možné vypracovat přehled jednotlivých bloků a blokové schéma adaptéru.

- **Kontaktní (propojovací) blok** – tento blok bude nahrazovat práci člověka, zejména jeho ruce. Jeho funkcí bude spínat a přepojovat měřené veličiny z měřeného přístroje na měřicí přístroje. Jeho realizace bude především pomocí relé a jejich ovládání. S tím souvisí ovládací blok.

- **Ovládací blok** – slouží k přizpůsobení ovládacího napětí pro relé. Je důležitý z hlediska oddělení spínacího signálu a měřených (spínaných) veličin a také jako přizpůsobení pro mikro procesor. Ten totiž má omezený proud na výstupech jednotlivých kanálů. Relé potřebují k sepnutí víc. Je nutné zde předřadit tranzistor.

- **Řídící blok** – K řízení celého zařízení je potřeba vhodný mikro procesor, nebo nejlépe osazená sestava. Zabezpečuje komunikaci s PC a na základě příkazů z PC řídí zařízení. Ve firmě Rohde&Schwarz je k těmto účelům používán mikro procesor od firmy Cleware, (který je kompatibilní se zdejšími programovacími jazyky na kalibraci) s USB rozhraním. Jeho datasheet potřebný k návrhu zapojení (viz příloha 4). Dále přikládám ilustrativní obr. (viz obr. 14)



Obrázek 14: Cleware

• **Vstupní a výstupní blok** – jsou tvořeny konektory, kterými do zařízení přivádíme měřený signál- (vstup) a dále jej přivádíme na daný měřicí přístroj- (výstup). Také je potřeba do měřeného přístroje přivést např. modulační signál atd. Volba konektorů byla dle charakteru měřeného signálu- typicky pro silový stejnosměrný signál byly použity banánkové konektory a s tím spojený CYKY kabel, pro střídavý signál (sinus, nebo obdélník) BNC konektory a s tím spojený koaxiální kabel. Problém by nastal při měření arbitrary funkce, protože tento signál je z přístroje distribuován přes banánkové konektory. Aby nemusel být během měření ručně přepojován (při ručním měření se používal koaxiální kabel s přechodem na banánky, ale ten zas není dimenzován na velký proud- až 2A) a měření tak neztratilo svůj automatický charakter, bude muset být použit stíněný LiYCY kabel 6x1,5mm. (viz obr. 15). Pro rozsah ISO kalibrace toto měření není nutné. Současný stav adaptéru ho neobsahuje.

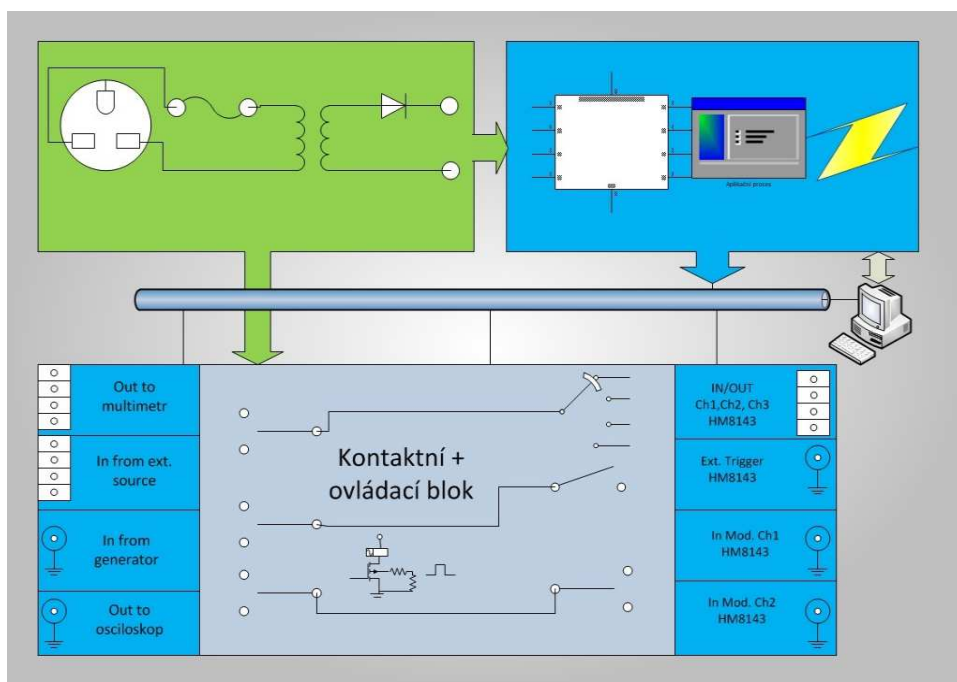


Obrázek 15: Stíněný LiYCY kabel

• **Zdroj** - v neposlední řadě musí zařízení obsahovat napájecí zdroj. Pro jednoduchost a větší variabilitu jsem zde ponechal pouze napájecí svorky. Návrh vlastního zdroje není třeba, jelikož celé zařízení se nakonec podařilo navrhnout tak, aby mohlo být použito jen jedno napájecí napětí pro všechny obvody a to 12V ss. Zdrojů tohoto typu je již zkonstruováno mnoho, jeho vývoj by ani nebyl rentabilní. V tomto případě bude použit laboratorní zdroj, který již pracoviště obsahuje.

Blokové schéma

Dalšími pomůckami před návrhem schéma zapojení a vytvořením dokumentů pro výrobu plošného spoje v programu Eagle. Zde je možné, se hlouběji zabývat problematikou automatického měření a návrh mi posloužil k ucelenému náhledu na zapojení. Blokové schéma (viz obr. 16)

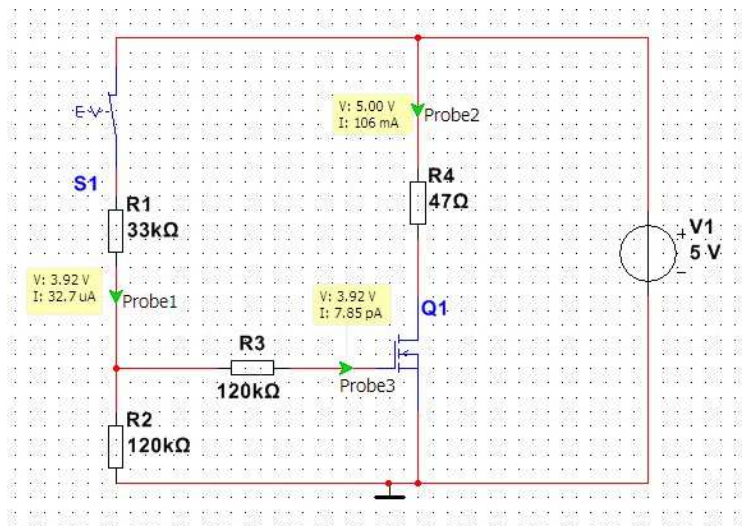


Obrázek 16: Blokové schéma

V programu **Multisim** jsem navrhl schéma pouze pro jeden kanál (HM8143 má 3 kanály), ale pro simulační potřeby není nutné obsáhnout jednu věc 3x. Při návrhu schéma jsem se potýkal s několika otázkami a problémy.

- Z důvodu absence relé s přepínacími kontakty jsem použil pouze ruční přepínač.
- Dále jsem nemohl galvanicky oddělit obě signálové cesty, protože Multisim neobsahuje relé se dvěma kontakty.

Volba spínacích prvků Na tomto místě bych se ještě rád zmínil, z jakých důvodů jsem jako spínací prvek velkých proudů ne zvolil tranzistor, ale relé. HM8143 lze zapojit také jako elektronickou zátěž. Pro „silové“ signály v kontaktním bloku tedy upřednostňuji relé před Tranzistory z několika důvodů. Těmi jsou- především možnost procházejícího proudu oběma směry, galvanické oddělení, ovládání dvou kontaktů jedním řídicím signálem (fyzicky jednou vodivou cestou) a jejich cena. Jinými slovy bylo zapotřebí jedno relé, namísto 4 tranzistorů typu MOSFET. Dále byla možná realizace SSR obvodu, které byly také bohužel dražší. Cívku relé bylo nutné spínat přes tranzistor, z důvodu zatížitelnosti mikro procesoru Cleware (viz obr. 18)



Obrázek 18: Spínání tranzistoru

Experimentální měření teploty zátěže

Dále bylo nutné, vhodně dimenzovat zátěžový rezistor tak, aby nedocházelo k přehřívání celého zařízení a daný rezistor neměnil svou hodnotu vlivem teploty, což by ovlivnilo měření. Proto bylo provedeno měření pod zatížením 5,4V/2A a sledována teplota v časové závislosti. Měření teploty bylo provedeno multimetrem **Fluke** s teplotní sondou. Zátěžový rezistor s parametry 2,7/100W bude použit pro ověření hodnot napětí Ch1 a Ch3 v zatíženém stavu. (Ověření funkce svorek SENSE) Jeho přesnost bude ověřována před začátkem měření multimetrem. Naměřené hodnoty (viz obr. 19).

Měření teploty zátěže	
0 min	27,7 °C
10 min	62,4°C
15 min	72,6°C
20 min	78,6°C
30 min	85,0°C

Obrázek 19: Měření teploty

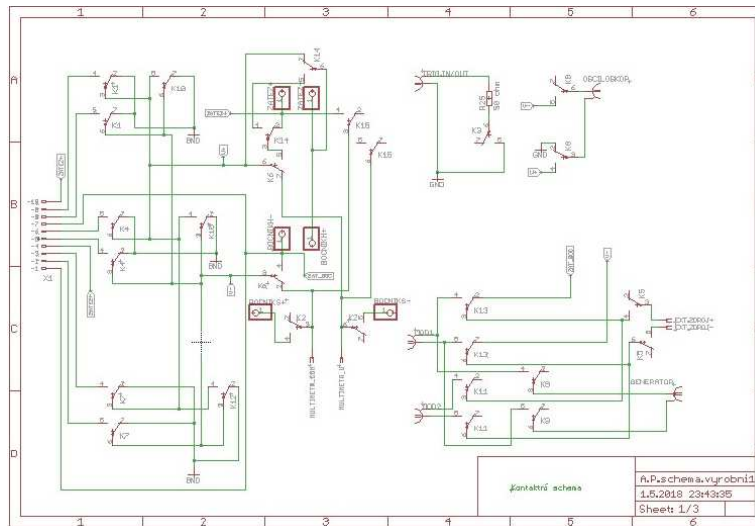
Návrh elektrického schéma v programu Eagle

Nyní bylo možné přistoupit k samotnému návrhu v programu Eagle. Před uvedením schématu, bych chtěl podotknout několik věcí.

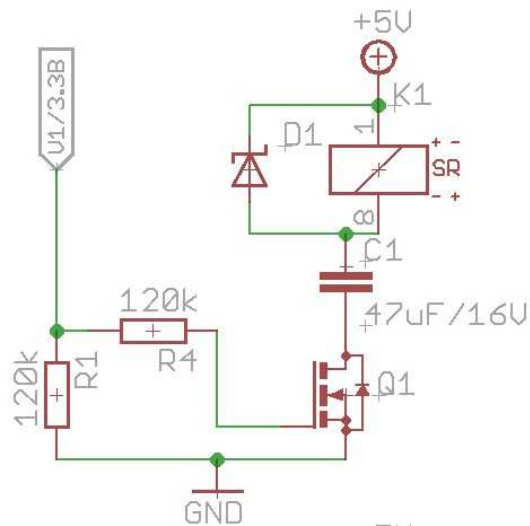
1. Zde bude uvedena pouze 1. část (kontaktní schéma), princip spínání relé a jejich řízení se stabilizátorem napájecí části. Kompletní schéma bude uvedeno v přílohách.
2. Z výrobních důvodů toto schéma neobsahuje bočník, ani zátěžový rezistor, protože tyto budou použity jako externí (mobilní) součástky a jsou používány ve více zařízeních. Protože se v programu Eagle přechází ze schematického editoru přímo do editoru plošných spojů, bylo již samotné schéma navrženo bez nich, pouze s vývody pro jejich zapojení.
3. Uvedené schéma bylo z hlediska funkčnosti ověřeno na kontaktním poli, dále zkontrolováno vedoucím Absolventské práce Ing. Antonínem Juránkem a odborným konzultantem Dr. Martinem Satorie, ale v době tvoření tohoto dokumentu nebylo ještě předáno a schváleno k výrobě vývojovému středisku firmy Rohde & Schwarz. Proto se od reálného výrobku nepatrně liší. Rovněž návrh plošného spoje. Pro publikování v této práci je ale postačující. Realizaci konečného výrobku a jeho aplikace do pracoviště bude prezentováno u obhajoby této práce, nebo po dohodě bude umožněna pracovníkům školy exkurze ve firmě Rohde & Schwarz- výrobní závod Vimperk. Z časových důvodů byl po realizaci výrobku dopsán pouze závěr a zhotovena prezentace v programu Power Point.
4. Za největší „know-how“ této práce považuji měřicí metody Rohde & Schwarz, podléhající ISO kalibrační normě, které jsou spojené s výpočtem nejistot měření, stanovenými měřenými hodnotami a jejich meze. Především ale zvýšená efektivita práce na základě automatizace a generování ISO kalibračního protokolu programem G5.
5. Tento program není možné publikovat v této práci. Ověření jeho funkce bude prezentována u obhajoby (např. video záznamem), nebo přímo formou exkurze pracovníkem školy ve firmě Rohde & Schwarz- výrobní závod Vimperk. Výše zmíněná publikace schéma, návrhu plošného spoje na následujících stránkách.

Návrh elektrického schéma v programu Eagle

- Kontaktní schéma (viz obr. 20)
- Princip spínání relé (viz obr. 21)

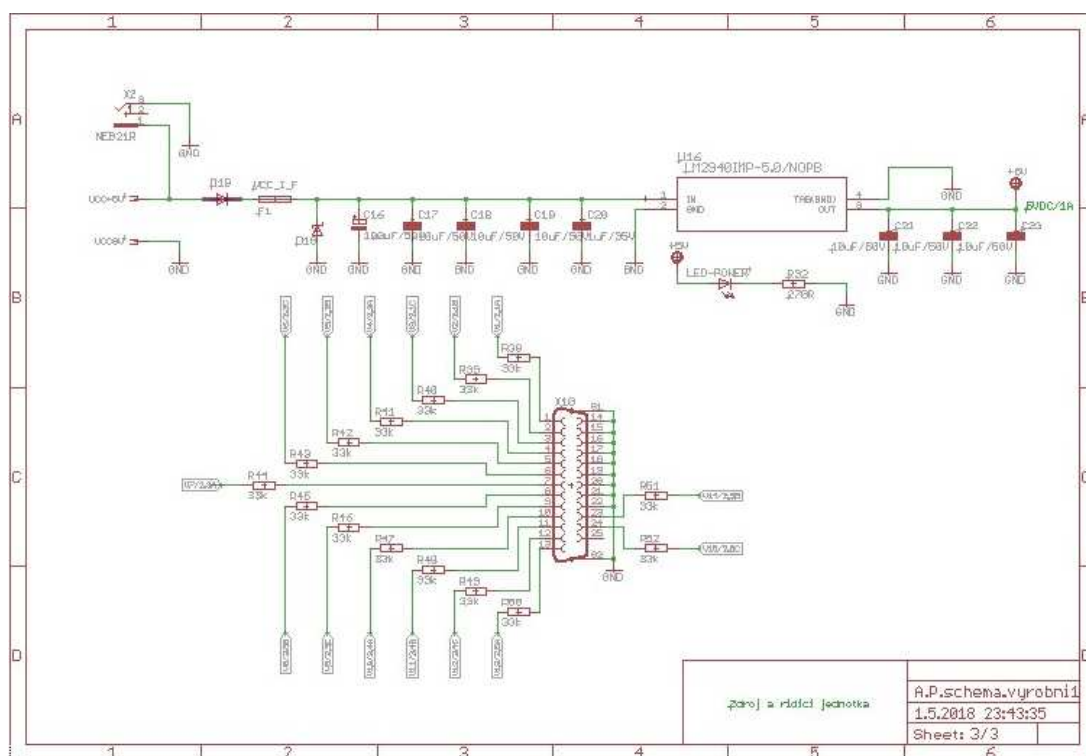


Obrázek 20: Kontaktní schéma



Obrázek 21: Princip spínání relé

• **Stabilizátor a řízení** (viz obr. 22) Na obrázku stabilizátor a řízení je zapojen konektor k připojení mikro procesoru Cleware. Datasheet Cleware nalezneme v přílohách práce.



Obrázek 22: Stabilizátor a řízení

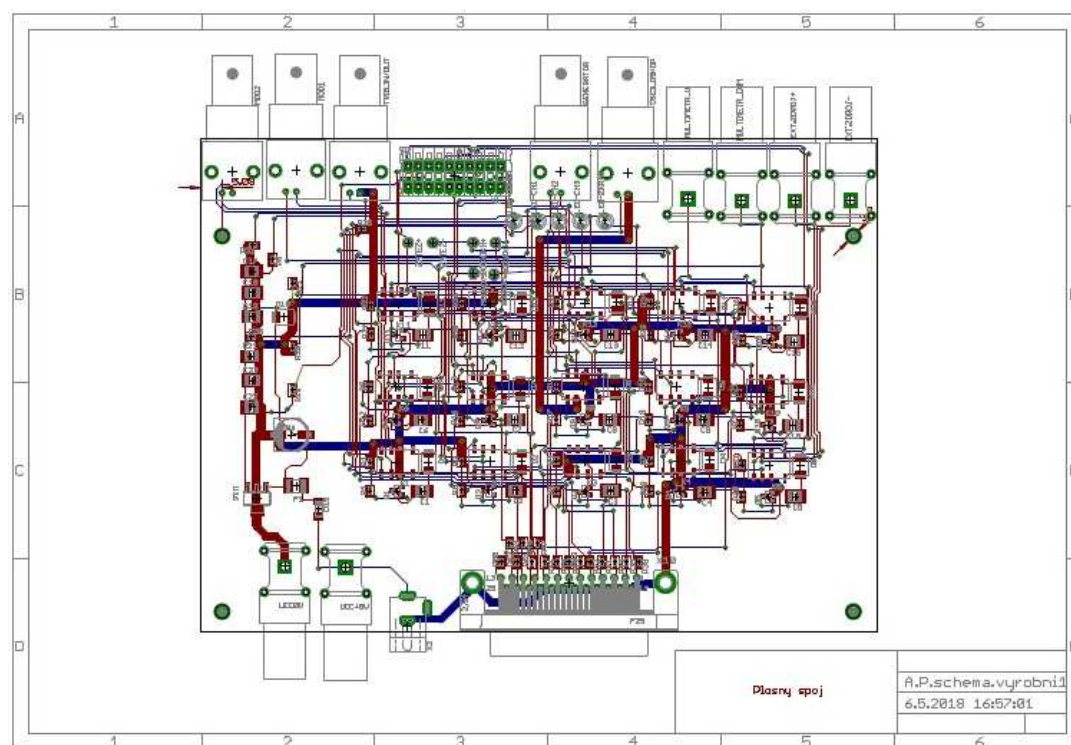
0.10 Návrh měřicího adaptéru- plošný spoj

Návrh plošného spoje

Při návrhu plošného spoje bylo postupováno

- podle literatury (JURÁNEK, A.NÁVRH MOTIVU PS, 2012)

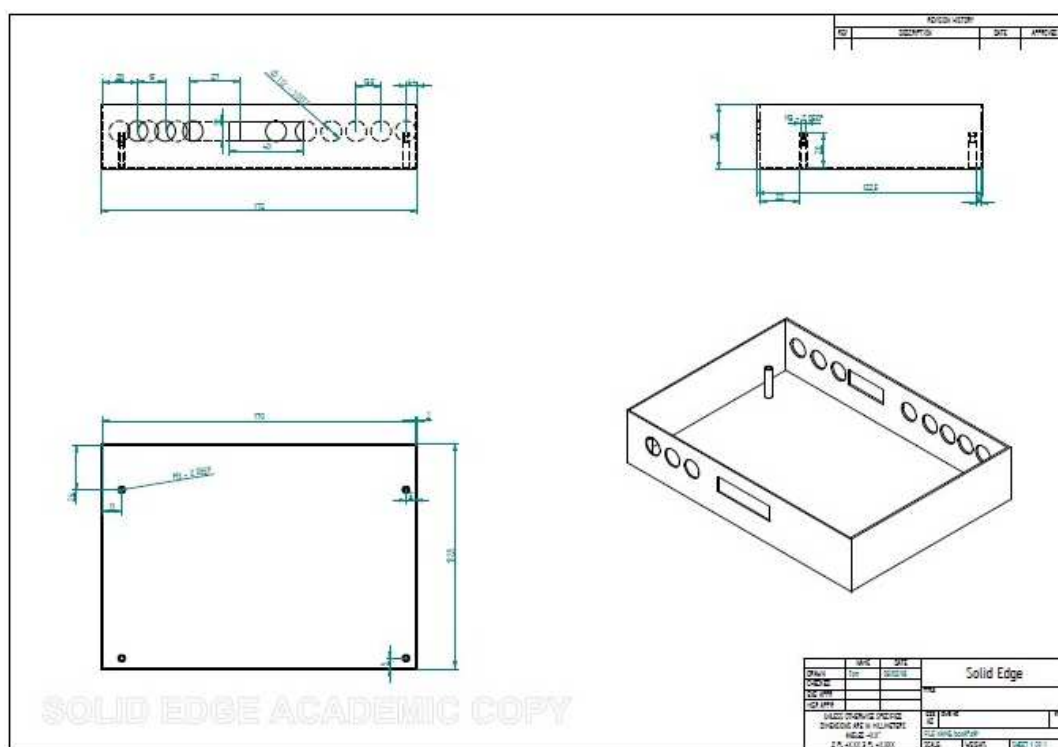
Dle tabulky str. 21 výše zmíněného dokumentu byla navržena šířka fólie 70 μm , jelikož při samotný návrh byl omezen na maximální šířku spoje 0.635mm a proud bude až 2A při předpokládaných 30°C. Níže (viz obr. 23) je pro lepší přehlednost publikován návrh plošného spoje před tzv. metodou rozlévané mědi. Kompletní dokumentaci nalezneme v přílohách práce.



Obrázek 23: Návrh plošného spoje

0.11 Návrh měřicího adaptéru-box

Návrh boxu v programu Solid Edge Jako poslední návrh pro výrobu HW byl po dokončení všech předchozích návrhů a odečtení rozměrů z návrhu plošného spoje návrh pro výrobu boxu. (viz obr. 24)



Obrázek 24: Návrh boxu

0.12 Závěr

Výstupem absolventské práce je HW, ale i SW rozšiřující aktuální měřicí pracoviště. Přínosem pro firmu Rohde & Schwarz- konkrétně závod Vimperk je ušetřený čas a náklady. Po určitém čase se předpokládá finanční zisk pro závod Vimperk, protože nyní bude možné provádět ISO kalibrace přímo zde. Jako přínos osobně vnímám získané zkušenosti nejen s ISO kalibracemi, ale propojením jednotlivých disciplín v této práci a nové dovednosti, které chci i nadále uplatnit. Rovněž pro mě byla inspirující spolupráce s odborníky. Osobně jsem se přesvědčil, že týmová práce, předání informací a návaznost jsou stejně důležité, jako vlastní dovednosti. Protože složitost technických zařízení se zvyšuje- řekl bych exponenciálně, týmová práce, dokumentace, předání informací a návaznost bude stále důležitější. Jsou to cenné zkušenosti. Realizovaný výrobek splňuje následující podmínky

- Elektrické propojení měřeného přístroje s měřicími přístroji.
- Stanovenou přesnost pro měření- tzn. výrobek nesmí zkreslovat výsledek měření.
- Odpovídající spolehlivost- tzn. výrobek nesmí jakýmkoliv způsobem poškodit měřené zařízení. Např. náhlým zkratem apod.
- Plně automatický chod
- Programovatelnost v programu používaným v Rohde & Schwarz
- Generování ISO kalibračního protokolu- ve spojení s programem

Návrh a výroba byla provedena v souladu se zásadami společnosti Rohde & Schwarz.

Literatura

JURÁNEK, A. NÁVRH MOTIVU PS (2012), Návrh motivu PS, (Výukové materiály), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí.

SROVNAL, V. A KOL. ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ (2008), Elektrotechnická měření, (INFORMATORIUM, spol. s.r.o. – technická literatura), Praha.

Příloha A

Obsah přiloženého CD/DVD

K této práci je přiloženo CD/DVD s následující adresářovou strukturou.

- Absolventská práce v \LaTeX 2 ϵ : *Absolventská práce o automatizovaném měření a ISO kalibrací*
- Fotodokumentace: *Fotodokumentace s plošným spojem, jeho osazením, zabudování do boxu a zakomponování do pracoviště, ilustrativní obrázky*
- Datové listy a dokumet v MS Word: *Datové listy přístrojů a součástek potřebné k návrhu přípravku a k realizaci pracoviště a dokumenty v MS Word-(tvorba A.P.+ prohlášení firmy a jeho scan v PDF formátu)*
- Objednávky a faktury: *Faktura k plošnému spoji a boxu*
- Schéma zapojení elektroniky: *Elektrická schémata v programech Eagle a Multisim*
- Výkresová dokumentace: *Výkresová dokumentace boxu z programu Solid Edge, plošný spoj a návrh plošného spoje v programu Eagle*
- Pesel_AP_2018_2019.pdf – absolventská práce ve formátu PDF

Příloha B

Použitý software

L^AT_EX 2_ε [⟨http://www.miktex.org/⟩](http://www.miktex.org/)

MATLAB/Simulink R2006b [⟨http://www.mathworks.com⟩](http://www.mathworks.com)

Solid Edge ST7 [⟨http://www.siemens.com/plm/⟩](http://www.siemens.com/plm/)

WinEdt 5.3 [⟨http://www.winedt.com/⟩](http://www.winedt.com/)

MS Visio [⟨https://login.microsoftonline.com/⟩](https://login.microsoftonline.com/)

MS Word [⟨https://login.microsoftonline.com/⟩](https://login.microsoftonline.com/)

MS Excel [⟨https://login.microsoftonline.com/⟩](https://login.microsoftonline.com/)

Eagle [⟨https://www.autodesk.com/⟩](https://www.autodesk.com/)

Multisim [⟨https://multisim.en.softonic.com/⟩](https://multisim.en.softonic.com/)

Hardcopy [⟨http://www.gen.hardcopy.de⟩](http://www.gen.hardcopy.de)

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo jeho licenci toho času vlastní Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto práci.

Příloha C

Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
objednávka elektrických komponent	1 den		26.09.2018
dodání elektrických komponent	2 týdny	03.10.2018	26.09.2018
výkresová dokumentace	2 měsíce	25.9.2018	10.7.2018
stavba adaptéru – montáž	2 dny	20.12.2018	19.12.2018
návrh plošných spojů	1 měsíc	25.09.2018	24.08.2018
osazení plošných spojů	den		04.10.2018
AP: kapitola Úvod	2 týdny	27.04.2018	13.04.2018
AP: kompletní text	9 měsíců	10.05.2019	9.05.2019