



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## AUTOMATICKÁ KONTROLA ODPOROVÉ A KAPACITNÍ DEKÁDY V KALIBRÁTORU 9010

AUTOMATIC CONTROL OF THE RESISTIVE AND CAPACITANCE DECADES IN CALIBRATOR 9010

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Mičulka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2019

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**  
Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Martin Mičulka

**ID:** 183137

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### **Automatická kontrola odporové a kapacitní dekády v kalibrátoru 9010**

#### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Téma je vypisováno ve spolupráci s firmou Meatest s.r.o.

1. Nastudujte práci s programem Caliber firmy Meatest s.r.o. pro automatizovanou práci s přístroji.
2. Provedte literární průzkum v oblasti předpokládaných specifikací odporové a kapacitní dekády v kalibrátoru 9010 a jeho komunikačních příkazů.
3. Definujte běžně používané hlavní a vedlejší parametry dekád.
4. Navrhněte metodiku pro stanovení parametrů dekád. Sestavte proceduru v programu Caliber.
5. Doporučte body, které se budou testovat u dekád při výrobě a následně při kalibraci.
6. Provedte praktická měření vybraných parametrů dekád dle bodu zadání č. 4 a 5 s využitím vytvořené procedury v programu Caliber.
7. Dosažené výsledky měření zhodnotte.

#### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] Uživatelská příručka programu Caliber  
[2] Manuál k přístroji Meatest 9010

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 20.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík,  
CSc.  
předseda oborové rady**

#### **UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá kontrolou automatizované kalibrace odporové a kapacitní dekády kalibrátoru 9010. Teoretická část se zabývá průzkumem předpokládaných specifikací dekád, jejich komunikačních příkazů a metodami pro stanovení parametrů dekád. Součástí teoretické části je představení programu Caliber a komunikačních rozhraní pro komunikaci s multifunkčním kalibrátorem 9010. Praktická část se zabývá vytvořením samotné procedury, jejíž součástí je tvorba karty přístroje 9010 a stanovení kontrolních bodů pro kalibraci. Na konci je provedeno měření se zhodnocením výsledků a popisem úprav pro dosažení co nejlepších výsledků.

## **Klíčová slova**

Meatest s.r.o., automatizovaná kalibrace, multifunkční kalibrátor 9010, Caliber, odporová dekáda, kapacitní dekáda

## **Abstract**

Goal of this bachelor thesis is checking of automated calibration of resistive and capacitive decade of calibrator 9010. In the theoretical part is described a research of assumed specifications of decades, their communication and methods how to set parameters of decades. In the theoretical part is also a description of program Caliber and communication interface with multifunctional calibrator 9010. The practical part includes creations of methods in which is described creation of card of device 9010 and setting up a control points for calibration. At the end of the thesis is discussed the measurement and its results with description how to get the best results.

## **Keywords**

Meatest s.r.o., automated calibration, multifunction calibrator 9010, Caliber, resistance decade, capacitance decade

## **Bibliografická citace:**

MIČULKA, Martin. *Automatická kontrola odporové a kapacitní dekády v kalibrátoru 9010*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119270>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Soňa Šedivá.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Automatická kontrola odporové a kapacitní dekády v kalibrátoru 9010 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **20. května 2019**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Soně Šedivé, Ph.D. a konzultantu Ing. Janu Bartoňovi za velmi vstřícný přístup a ochotu, účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **20. května 2019**

.....  
podpis autora

# Obsah

Úvod.....	13
1. Obecný popis kalibrátoru .....	14
1.1 Obecné parametry dekád.....	14
1.2 Vedlejší parametry dekád.....	15
2. Metody pro určení parametrů dekád .....	16
2.1 Metody pro měření odporu.....	16
2.1.1 Ohmova metoda .....	16
2.1.2 Srovnávací metoda.....	17
2.2 Metody pro měření kapacity .....	18
2.2.1 Přímou ukazující přístroje.....	18
2.2.2 Rezonanční metoda.....	19
2.2.3 Můstková metoda.....	19
3. Multifunkční kalibrátor 9010 .....	20
3.1 Specifikace dekád multifukčního kalibrátoru 9010 .....	21
3.2 Princip funkčnosti dekád.....	22
4. Program „Caliber“ .....	23
4.1 Obecné informace .....	23
4.2 Struktura programu .....	23
4.3 Modul <i>Procedury</i> .....	24
4.3.1 Průvodce vytváření procedur .....	25
4.3.2 Stavové okno.....	27
4.4 Modul <i>Karta přístroje</i> .....	29
4.4.1 Uživatelské funkce.....	31
5. Komunikační rozhraní.....	32
5.1 RS232.....	32
5.2 LAN (Ethernet) .....	34
5.3 USB .....	34
5.4 GPIB.....	35
5.5 VISA .....	36
5.6 SCPI .....	36

6.	Komunikační příkazy .....	37
6.1	Základní příkazy pro komunikaci s kapacitní dekádou.....	37
6.2	Základní příkazy pro komunikaci s odporovou dekádou.....	38
7.	Kalibrační procedura.....	40
7.1	Vytvoření karty přístroje kalibrátoru 9010 .....	40
7.1.1	Funkce RDC-2W a RDC-4W .....	40
7.1.2	Funkce LVR_FIX_2W a LVR_FIX_4W .....	42
7.1.3	Funkce C-2W a C_FIX_2W .....	43
7.2	Schéma procedury .....	45
7.3	Body kalibrace .....	45
8.	Měření .....	47
8.1	Formát naměřeného protokolu procedury .....	47
8.2	Výpočty použité v protokolu.....	47
8.3	Seznam použitých přístrojů.....	48
8.4	Měření č. 1 .....	48
8.5	Měření č.2 .....	49
8.6	Měření č.3 .....	49
8.7	Měření č.4 .....	51
9.	Hodnocení provedených měření .....	53
10.	Závěr .....	54
	Literatura.....	55
	Seznam příloh .....	57



# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky:

<i>GPIB</i>	... General Purpose Interface Bus
<i>RS232</i>	... Standart RS-232, neboli sériová sběrnice
<i>VISA</i>	... Virtual Instrument Software Architecture
<i>USB</i>	... Universal Serial Bus
<i>UUT</i>	... Unit Under Test
<i>CMC</i>	... Calibration and measurement capability (kalibrační a měřicí schopnost)
<i>LAN</i>	... Local Area Network
<i>RJ-45</i>	... Zkratka koncovky síťových kabelů
<i>CLK</i>	... Clock – synchronizační signál
<i>TTL</i>	... Transistor-transistor-logic
<i>HP</i>	... Hewlett Packard
<i>SCPI</i>	... Standard Commands for Programmable Instruments
<i>HI</i>	... High svorka
<i>LO</i>	... Low svorka
<i>VAR</i>	... Variable – zkratka měřicího módu
<i>FIX</i>	... Fixed – zkratka měřicího módu
<i>ppm</i>	... Parts per million
<i>AC</i>	... Alternating current (střídavý proud)
<i>rms</i>	... Root Mean Square (efektivní hodnota)

## Symboly:

<i>U</i>	... Napětí	[V]
<i>I</i>	... Proud	[A]
<i>C</i>	... Kapacita	[F]
<i>R</i>	... Odpor	[ $\Omega$ ]
$\Delta_H$	... Chyba z hodnoty	[%]
$2\pi f$	... Kmitočet napájecího napětí	[Hz]
$\Delta$	... Absolutní chyba	[ $\Omega \times F$ ]
$X_{UUT}$	... Hodnota naměřená testovaným přístrojem	[ $\Omega \times F$ ]

$X_E$	... Hodnota naměřená etalonem	[ $\Omega \times F$ ]
$\%spe$	... Procento čerpání specifikace	[%]
$Povoleno$	... Mezní povolená chyba přístroje	[ $\Omega \times F$ ]
$U$	... Standardní rozšířená nejistota měření	
$k_U$	... Koeficient rozšíření	
$u_c$	... Kombinovaná standardní nejistota	
$R_E$	... Hodnota odporu naměřená etalonem	[ $\Omega$ ]
$C_p-D$	... Paralelní kapacita s činitelem ztrát	
$C_s-D$	... Sériová kapacita s činitelem ztrát	
$D$	... Činitel ztrát pro kapacity	

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření Ohmovou metodou [2] .....	16
Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření srovnávací metodou [2] .....	18
Obrázek 3: Multifunkční kalibrátor 9010 [3].....	20
Obrázek 4: Zjednodušené schéma principu dekády.....	22
Obrázek 5: Schéma principu dekád v kalibrátoru M142 [4] .....	22
Obrázek 6: Okno modulu <i>Procedura</i> [6] .....	24
Obrázek 7: Okno <i>Průvodce vytváření procedur</i> .....	25
Obrázek 8: Okno <i>Konfigurace přístroje</i> vkládaného do procedury.....	25
Obrázek 9: Karta <i>Funkce</i> v průvodci vytváření procedur.....	26
Obrázek 10: Karta <i>Hodnoty</i> v průvodci vytváření procedury.....	27
Obrázek 11: Stavové okno .....	27
Obrázek 12: Nabídka individuálních nastavení stavového okna .....	28
Obrázek 13: Základní okno modulu <i>Karta přístroje</i> .....	29
Obrázek 14: Okno <i>Uživatelské funkce</i> .....	31
Obrázek 15: Zadní strana kalibrátoru 9010 [3].....	32
Obrázek 16: Konektor RS232 [8] .....	33
Obrázek 17: Příklad komunikace pomocí sběrnice RS232 [10].....	33
Obrázek 18: Zapojení kabelů v konektoru RJ-45 [12].....	34
Obrázek 19: Typy konektoru USB [13].....	35
Obrázek 20: Popis jednotlivých pinů konektoru GPIB [15].....	35
Obrázek 21: Makro <i>Nastavení</i> pro funkci RDC-4W .....	40
Obrázek 22: Makro <i>Měření</i> pro funkci RDC-4W.....	41
Obrázek 23: Podmínky převodníku pro měření LVR_FIX_2W .....	43
Obrázek 24: Makro <i>Měření</i> funkce C-2W .....	43
Obrázek 25: Makro <i>Nastavení</i> funkce C-2W .....	43
Obrázek 26: Základní schéma procedury pro kalibrátor 9010.....	45
Obrázek 27: Rozšířené schéma procedury pro kalibrátor 9010.....	45
Obrázek 28: Schéma pro měření kapacitní dekády kalibrátoru 9010.....	45
Obrázek 29: Nový princip měření odporu pro funkci RDC-2W .....	49
Obrázek 30: Zapojení pracoviště pro měření kapacitní dekády.....	51

## Seznam tabulek

Tab. 1: Toleranční pole napětí při komunikaci přes RS232 [9].....	33
Tab. 2: Rozsah hodnot a jejich chyb pro funkci RDC-2W a RDC-4W [18] .....	41
Tab. 3: Rozsah hodnot pro funkci LVR_FIX_4W [18].....	42
Tab. 4: Rozsah hodnot pro funkci LVR_FIX_2W [18].....	42
Tab. 5: Hodnoty kapacit pro funkci C_FIX_2W [18].....	44
Tab. 6: Rozsahy kapacit pro funkci C-2W [18].....	44
Tab. 7: Body kalibrace pro všechny funkce.....	46
Tab. 8: Porovnání odchylek u funkce RDC-2W .....	50

# ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá kalibrací multifunkčního kalibrátoru 9010 od společnosti Meatest s.r.o. Konkrétně je jejím cílem vytvoření procedury pro automatizovanou kontrolu kalibrace odporové a kapacitní dekády multifunkčního kalibrátoru 9010. Jedná se o nový kalibrátor, který by měl nahradit původní M142.

Firma Meatest s.r.o. byla založena roku 1991. Do jejího pole působnosti patří výroba a prodej přístrojů v oblasti měřicí a regulační techniky. Jejimi produkty jsou tedy kalibrační přístroje, měřicí přístroje, testery bezpečnosti, průtokoměry, programovatelné zdroje a mnoho dalšího. Kromě výroby přístrojů se firma specializuje zároveň na vývoj vlastního softwaru pro kalibraci měřících přístrojů. Jedná se hlavně o program Caliber sloužící pro automatizovanou kalibraci. S tímto programem je možné používat WinQbase. Jeho funkcí je evidovat databázi přístrojů a jejich kalibrací. Dalším programem od firmy Meatest je FlowAssistent, jehož funkcí je konfigurace průtokoměrů.

Kalibrace přístrojů je velmi důležitou činností v oblasti měřicí a regulační techniky. Termínem kalibrace přístroje je myšleno přímé srovnání testovaného přístroje s referenčními etalony, čímž se určí jeho metrologické charakteristiky [1]. Kalibrace se nejčastěji využívá za účelem dosažení co nejpřesnějších dat a vyhodnocení chyb. V tomto ohledu se snaží firma Meatest s.r.o. tento proces zautomatizovat a co nejlépe zefektivnit za pomoci výpočetní techniky a jejich přístrojů.

Práce se věnuje popisu multifunkčního kalibrátoru 9010, zejména jeho odporové a kapacitní dekádě, jejich vlastnostem a parametrům. Následně seznámení se s programem Caliber, kdy znalost práce s tímto programem je nutná pro vytvoření kontrolní procedury. V práci bude provedeno rovněž seznámení se s komunikačními příkazy a rozhraním pro komunikaci programu Caliber s přístrojem 9010, měřících metod pro určení parametrů odporových a kapacitních dekád.

Hlavním cílem práce je vytvoření kontrolní kalibrace kalibrátoru 9010. Tohoto cíle bude dosaženo za pomoci vytvořené kalibrační procedury v programu Caliber.

# 1. OBECNÝ POPIS KALIBRÁTORU

Úkolem multifunkčního kalibrátoru je kalibrace elektrických veličin, kdy je tento přístroj využit jako etalonové měřidlo, umožňující přesnou justáž<sup>1</sup> měřidel elektrických veličin. Využití tento přístroj nachází v metrologických laboratořích, kde jsou kladeny vysoké nároky na přesnost měřených údajů. Mezi výhody těchto přístrojů patří jejich univerzálnost, a hlavně široké spektrum využití.

## 1.1 Obecné parametry dekád

Parametrů dekád je velké množství. Všechny nezbytné parametry lze dohledat v technické dokumentaci příslušné dekády. Výčet základních parametrů dekád:

- **Rozsah hodnot**

Jedná se o základní udávaný parametr dekád a zároveň také nejdůležitější parametr. Rozsah hodnot udává nejmenší a největší hodnotu, kterou lze na dekádě zadat a následně měřit.

- **Přesnost**

Jedná se o hodnotu, která určuje možný rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny. Nejčastěji je udávaná v procentech.

- **Rozlišení**

Udává nejmenší možnou změnu veličiny, která způsobí změnu v indikaci.

- **Maximální napětí**

Tato hodnota udává maximální možné napětí, které je možné přivést na výstupu měřeného segmentu bez toho, aby došlo k jeho zničení. Tyto hodnoty jsou rozdílné v závislosti na měřícím rozsahu.

- **Zatížitelnost**

Někdy uvedena pod pojmem jmenovitý výkon. Znamená maximální příkon, který můžeme přivést na výstupní svorky měřeného segmentu, při kterém nedojde k jeho zničení.

- **Teplotní závislost**

Teplotní závislost udává, jak moc se mění přesnost měření v závislosti na teplotě okolního prostředí. Jedná se také o rozsah teplot, při kterých daná dekáda neztrácí vlastnosti udávané výrobcem. Může být označován i jako pracovní rozsah teplot.

---

<sup>1</sup> Seřízení měřidla pomocí etalonového měřidla, za účelem zajištění správnosti a přesnosti měření. [1]

- **Závislost na vlhkosti**

Podobný parametr, který udává změnu přesnosti měření v závislosti na vlhkosti okolního prostředí.

## **1.2 Vedlejší parametry dekád**

- **Skladovací podmínky**

Výrobce často udává teplotní rozsah, ve kterém můžeme daný přístroj uchovávat, bez toho, aby došlo k razantní změně ve stálosti parametrů.

- **Doporučený rekalibrační interval**

Souvisí se skladovacími podmínkami, kdy tento parametr udává interval, ve kterém je doporučeno dekádu znovu zkalibrovat, jelikož její parametry se v čase mění.

## 2. METODY PRO URČENÍ PARAMETRŮ DEKÁD

### 2.1 Metody pro měření odporu

Elektrický odpor je možné měřit různými metodami. Nejčastěji se výběr metody volí podle velikosti měřeného odporu. Velikost odporu se dělí:

- Malé  $< 10^{-1} \Omega$
- Střední  $10 - 10^6 \Omega$
- Velké  $> 10^6 \Omega$

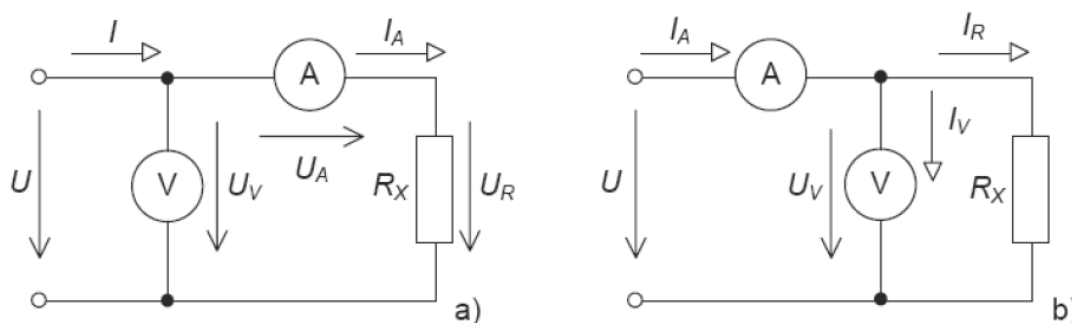
#### 2.1.1 Ohmova metoda

Jako jediná metoda je vhodná pro měření lineárních i nelineárních odporů. Principem metody je aplikace rovnice Ohmova zákona (viz rovnice 2.1), kdy se hodnota odporu získává nepřímým výpočtem. [2]

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (2.1),$$

kde  $R$  ...hodnota měřeného odporu [ $\Omega$ ]  
 $U$  ...hodnota napětí na odporu [V]  
 $I$  ...hodnota proudu protékajícího odporem [A]

Viz obrázek 1 znázorňuje obvody pro měření odporu pomocí Ohmovy metody. Jsou zde dvě možnosti zapojení, přičemž obě jsou zatíženy chybou měření.



Obrázek 1: Schéma zapojení pro měření Ohmovou metodou [2]

Zapojení podle obrázku 1 a) je vhodné pro měření velkých odporů. Pomocí ampérmetru je zde přesně změřen proud  $I_A$  protékající odporem  $R_x$ , avšak voltmetr měří úbytek napětí na odporu  $R_x$ , který je zvýšen o úbytek napětí na ampérmetru. Je to také proto, že ampérmetr má malý vnitřní odpor, proto je úbytek na ampérmetru vždycky malý



a zanedbatelný u měření velkých odporů. Proto je tedy toto zapojení vhodnější, pokud je úbytek napětí na měřeném odporu  $R_x$  podstatně vyšší než úbytek napětí na ampérmetru.

V případě, pokud je nám znám vnitřní odpor ampérmetru, můžeme použít korekci pomocí této rovnice 2.2:

$$R_x = \frac{U_V - I_A \cdot R_A}{I_A} \quad [\Omega] \quad (2.2),$$

kde

$R_x$	...hodnota měřeného odporu $[\Omega]$
$R_A$	...hodnota vnitřního odporu ampérmetru $[\Omega]$
$U_V$	...hodnota napětí změřená voltmetrem $[V]$
$I_A$	...hodnota proudu změřená ampérmetrem $[A]$

Zapojení zobrazené na obrázku 1 b) je vhodné pro malé odpory. Voltmetr zde měří reálné napětí na měřeném odporu  $R_x$ . Avšak ampérmetr zde měří součet proudů procházejících měřeným odporem a voltmetrem. Z toho důvodu je toto zapojení vhodné využít tam, kde proud procházející měřeným odporem je značně vyšší než proud protékající voltmetrem. Pokud zde známe hodnotu odporu voltmetru  $R_V$ , můžeme uplatnit korekci pomocí rovnice (2.3):

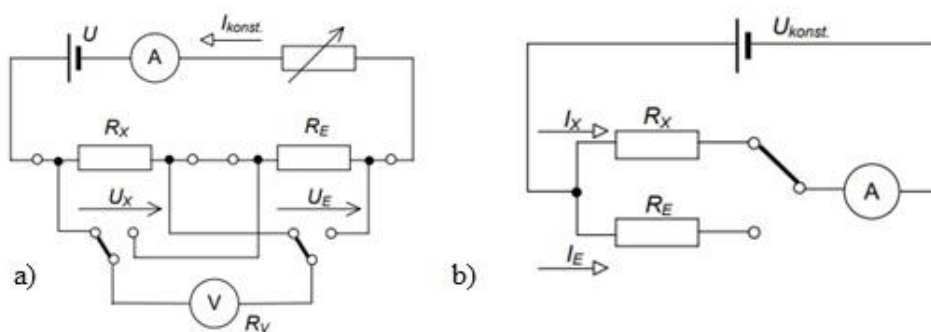
$$R_x = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \quad [\Omega] \quad (2.3),$$

kde

$R_x$	...hodnota měřeného odporu $[\Omega]$
$R_V$	...hodnota vnitřního odporu voltmetru $[\Omega]$
$U_V$	...hodnota napětí změřená voltmetrem $[V]$
$I_A$	...hodnota proudu změřená ampérmetrem $[A]$

## 2.1.2 Srovnávací metoda

Srovnávací metoda je založena na porovnávání neznámého odporu s etalonovým odporem, jehož hodnotu známe. U této metody rovněž rozeznáváme zapojení vhodné pro malé a velké odpory. Zapojení pro malé odpory ukazuje obrázek 2 a). Zde jsou oba rezistory zapojeny v sérii. Porovnáváme zde úbytek napětí na měřeném odporu a na známém etalonovém odporu. Podmínkou pro měření je, aby proud tekoucí obvodem byl konstantní. Rovnice 2.4 ukazuje výpočet neznámého odporu srovnávací metodou v sériovém zapojení. Viz obrázek 2 b), kde lze vidět zapojení pro měření velkých odporů. V tomto případě se odpory nacházejí v paralelním zapojení. Velikost odporu zde zjišťujeme porovnáním proudů tekoucích jednotlivými rezistory. Zde, pro správné měření, je potřeba zajistit konstantní napětí v obvodu. Rovnice 2.5 slouží k výpočtu neznámého odporu za pomoci paralelního zapojení odporů. [2]



Obrázek 2: Schéma zapojení pro měření srovnávací metodou [2]

$$R_x = R_E \cdot \frac{U_x}{U_E} \quad [\Omega] \quad (2.4),$$

kde  $R_x$  ...hodnota měřeného odporu [ $\Omega$ ]  
 $R_E$  ...hodnota odporu etalonu [ $\Omega$ ]  
 $U_x$  ...hodnota napětí na měřeném odporu [V]  
 $U_E$  ...hodnota napětí na etalonovém odporu [V]

$$R_x = R_E \cdot \frac{I_E}{I_x} \quad [\Omega] \quad (2.5),$$

kde  $R_x$  ...hodnota měřeného odporu [ $\Omega$ ]  
 $R_E$  ...hodnota odporu etalonu [ $\Omega$ ]  
 $I_x$  ...hodnota proudu protékajícího měřeným odporem [A]  
 $I_E$  ...hodnota proudu protékajícího etalonovým odporem [A]

## 2.2 Metody pro měření kapacity

### 2.2.1 Přímou ukazující přístroje

Hodnota měřené kapacity je přímo udávána analogově nebo číslicově. Výhodou těchto přístrojů je obsazení měřících obvodů již v přístrojích, čímž je usnadněna obsluha měření. Přímou ukazující přístroje se vyrábějí na různých funkčních principech. Jedním z nich je zmiňovaný způsob připomínající *Ohmovu metodu*. Zde získáváme měřenou kapacitu ze znalosti velikosti harmonického proudu tekoucího zmiňovanou kapacitou a velikosti harmonického napětí na ni. Výpočetní vztah pro měřenou kapacitu zobrazuje rovnice 2.6. Do této kategorie také spadá měření pomocí RLC mostu, vyznačující se vysokou přesností, nenáročným zapojováním a obsluhou. Výhodou je taky možnost měření parazitních odporů. Měří za pomoci složitějších vnitřních mostů a obvodů. [2]

$$C = \frac{I}{2\pi f U_c} \text{ [F]} \quad (2.6),$$

kde	$C$	...hodnota měřené kapacity [F]
	$I$	...hodnota proudu protékajícího měřenou kapacitou [A]
	$U_c$	...hodnota napětí na měřené kapacitě [V]
	$2\pi f$	...kmitočet napájecího napětí [Hz]

Dalším způsobem je například číslicové měření kapacity využívající převodu kapacity na časový interval. [2]

### 2.2.2 Rezonanční metoda

Princip rezonanční metody vychází z obvodů LC, ve kterých je jasně definovaný vztah mezi rezonančním kmitočtem, indukčností  $L$  a kapacitou  $C$ . Měřená kapacita je vložena do rezonančního obvodu. Ten je poté přiveden do rezonance – jedná se o maximální hodnotu napětí na obvodu. Existují různé způsoby zapojení, které se mohou lišit například způsobem uvádění obvodu do rezonance. Může se jednat o ladění pomocí nastavování frekvence budícího signálu nebo za pomoci přidání ladícího kapacitoru do obvodu. [2]

### 2.2.3 Můstková metoda

Tato metoda nabízí vysokou přesnost měření a široký měřicí rozsah kapacit. Je zde potřeba před měřením vyvážit most do rovnováhy, což se projeví například minimální hodnotou výstupního signálu mostu. Nejčastější můstková zapojení využívané pro měření kapacity jsou *De Sautyho můstek*, *Wienův můstek* a *Scheringův můstek*. Možnou nevýhodou můstkových metod je jejich složitá konstrukční provedení. [2]

### 3. MULTIFUNKČNÍ KALIBRÁTOR 9010

Multifunkční kalibrátor 9010 je nový produkt vyráběný firmou Meatest s.r.o. Má nahradit starší kalibrátor M142. Ve vývoji je zároveň multifunkční kalibrátor 9020, který by měl nahradit kalibrátor M140. Kalibrátor 9010 je navržen jako univerzální kalibrační nástroj pro kalibrační laboratoře. Pokrývá široké spektrum přístrojů vyžadujících kalibraci. Příkladem multimetry, ohmmetry, měřiče výkonu a analyzátoři výkonu, měřiče energie, převodníky, procesní měřidla a mnohé další. Zároveň jde také použít jako přesný zdroj napětí a proudu. Výhodou je vysoká proudová zatížitelnost napěťového výstupu (dosahuje až 50 mA), která umožňuje kalibraci analogových měřidel s vysokou spotřebou. Instalované harmonické a neharmonické tvarové signály umožňují testovat citlivost měřidel na zkreslené signály. Zároveň kalibrátor 9010 poskytuje funkce jako jsou vestavěný multimetr, umožňující přímé měření odezvy různých procesních měřidel, převodníků a senzorů (tenzometr, tlak, atd.), zobrazení výsledné nejistoty, jednoduché recalibrace a dálkového ovládání. [3]



Obrázek 3: Multifunkční kalibrátor 9010 [3]

Kalibrátor obsahuje tři dekády. Konkrétně odporovou dekádu, kapacitní dekádu a vysokoodporovou dekádu. Odporovou a kapacitní dekádu lze využít ve dvou možných režimech - v simulovaném režimu a fixním, kdy se měří reálné fixní hodnoty odporu, nebo kapacity. Vysokoodporová dekáda nabízí pouze simulovaný režim. V případě simulovaného režimu se jedná o to, že požadovaná hodnota se získává pomocí kombinace několika odporových segmentů, které se spínají díky relé. Na rozdíl od fixního režimu, kdy se v dekádě nachází reálné fixní odpor o požadované hodnotě.

### 3.1 Specifikace dekád multifukčního kalibrátoru 9010

#### Specifikace kalibrátoru [3]:

Teplotní závislost:	$23 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 0,1 x přesnost hodnoty / $^\circ\text{C}$
Relativní vlhkost:	< 70% do $28^\circ\text{C}$
Skladovací teplota:	$-10 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+55 \text{ }^\circ\text{C}$

Následující specifikace dekád jsou rozepsány podle režimu měření.

#### Fixní odporový režim [3]:

Celkový rozsah:	čtyřvodičový $0,1 \text{ } \Omega - 100 \text{ k}\Omega$
Celkový rozsah:	dvouvodičový $0,1 \text{ } \Omega - 1 \text{ G}\Omega$
Rozlišení:	6 digitů
Kompenzace odporu:	$0 - 1000 \text{ } \Omega$
Maximální napětí:	100 V
Maximální proud:	500 mA

#### Simulovaný odporový režim [3]:

Celkový rozsah:	$0 - 1000 \text{ M}\Omega$
Rozlišení:	6 digitů
Kompenzace odporu:	$0 - 1000 \text{ } \Omega$
Maximální napětí:	20 V
Maximální proud:	100 mA

#### Fixní kapacitní režim [3]:

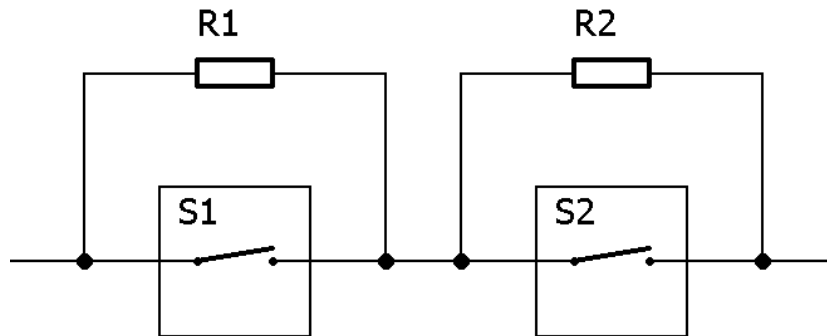
Celkový rozsah:	220 nF - 100 $\mu\text{F}$
Rozlišení:	4 1/2 digitů
Maximální napětí:	35 V AC rms

#### Simulovaný kapacitní režim [3]:

Celkový rozsah:	0.7 nF- 100 $\mu\text{F}$
Rozlišení:	4 1/2 digitů
Maximální napětí:	2 – 5,5 V AC rms

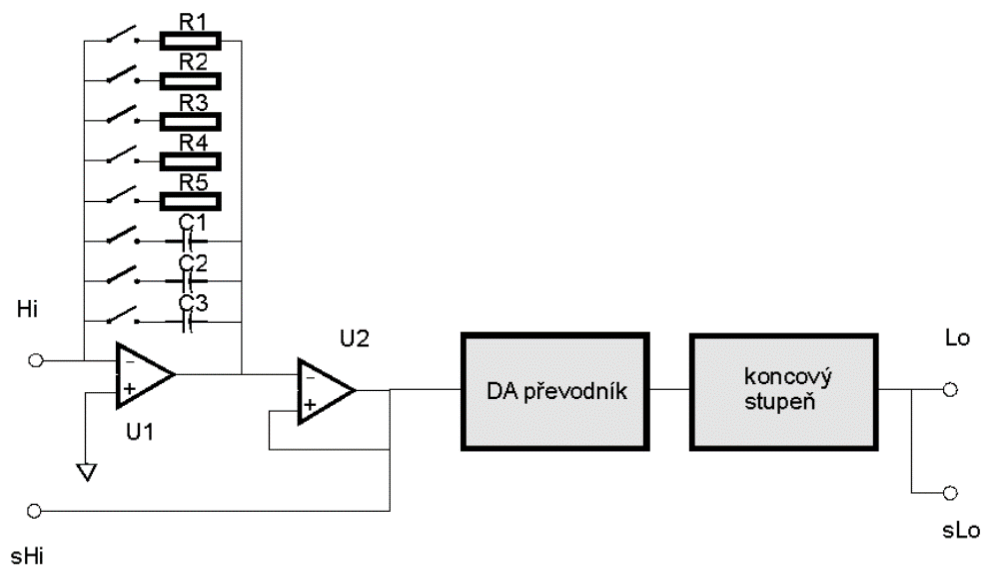
## 3.2 Princip funkčnosti dekád

Princip funkčnosti dekád spočívá v přítomnosti několika desítek etalonových odporů, respektive kapacity. Každý tento segment má své relé, které ho následně spíná, či vypíná podle požadované hodnoty. Zjednodušené schéma principu funkčnosti dekád ukazuje obrázek 4. Toto zjednodušené schéma platí pro fixní režim.



Obrázek 4: Zjednodušené schéma principu dekády

V případě simulovaného režimu je tato řada odporových a kapacitních segmentů rozšířena o elektronicky simulátor skládající se z dvou operačních zesilovačů, digitálně analogového převodníku a koncového stupně. Toto schéma zapojení zobrazuje obrázek 5. Schéma zapojení pochází z odporové a kapacitní dekády multifunkčního kalibrátoru M142. Nicméně u přístroje 9010 je toto schéma obdobné. Operační zesilovač U1 tvoří převodník napětí/proud. U2 je oddělovací sledovač. Odporů R1 až R5 a kapacity C1 až C3 jsou rozsahové impedance. Digitálně analogový převodník realizuje přenos v rozsahu 0 až +1 a 0 až -1 a umožňuje simulovat stupnici odporu a kapacity v okolí rozsahové impedance. Koncový stupeň je určen pro dosažení vyšší proudové zatížitelnosti simulátoru. [4]



Obrázek 5: Schéma principu dekád v kalibrátoru M142 [4]

## 4. PROGRAM „CALIBER“

V této kapitole je popsán program Caliber použitý pro vytvoření automatizované kalibrace multifunkčního kalibrátoru 9010. Program je využíván ve verzi 2.51. Informace k této kapitole jsou čerpány z manuálu k programu [5].

### 4.1 Obecné informace

Program Caliber je software vytvořený firmou Meatest s.r.o., sloužící pro automatizovanou kalibraci měřicích přístrojů. K vytvoření kalibrace je potřeba testovaný přístroj, příslušný etalon a počítač s operačním systémem Windows. Mezi nejčastěji kalibrované veličiny patří odpor, kapacita, napětí, proud atd. Přístroje, používané při kalibraci, mohou být ovládány manuálně, případně automatizovaně, kdy komunikace může probíhat pomocí sběrnice GPIB, sériovém portu RS232 nebo jakékoliv jiné sběrnici využívající průmyslový standart VISA (např. USB, Ethernet). Speciální možnost pro snímání kalibrovaných veličin je využití kamerového modulu CamOCR. Výstupem vytvořené procedury je fyzicky provedená kalibrace přístroje s protokolem, ve kterém se nacházejí naměřené hodnoty s jejich vyhodnocením.

### 4.2 Struktura programu

Základ programu tvoří čtyři moduly:

- Procedury
- Karty přístrojů
- Uživatelské funkce
- Pravidla generování

Základním modulem pro vytváření kalibrační procedury v tomto programu je modul *Procedury*. Díky tomuto modulu můžeme vytvářet a upravovat kalibrační proceduru a následně zde i přímo provádět kalibrace. K vytvoření procedury je potřebný seznam přístrojů, funkcí, rozsahů a samotných bodů kontrolovaného přístroje.

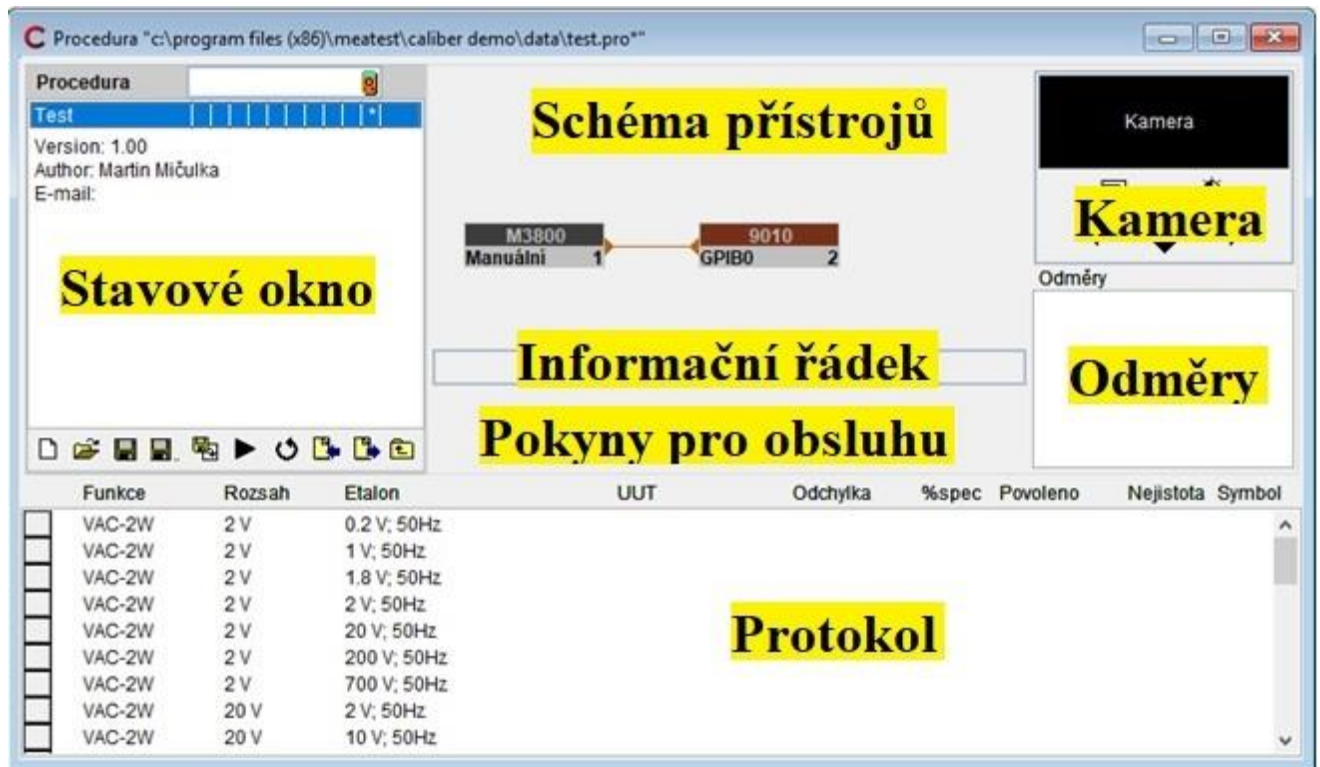
Dalším modulem je *Karta přístrojů*. Nachází se zde definice přístrojů. Konkrétně se jedná o seznam podporovaných funkcí, rozsahů, jeho specifikací a způsobů ovládání přístroje. Každý přístroj, zde vytvořený, je následně možné využívat pro jakoukoliv kalibraci v libovolné konfiguraci.

Modul *Uživatelské funkce* přináší možnost vytvářet nové funkce nebo modifikovat již vytvořené a následně je využívat jako vlastnosti přístroje v celém programu Caliber.

Poslední modul *Pravidla generování* obsahuje definici pravidel, používaných pro automatické vytváření kalibrační procedury.

### 4.3 Modul *Procedury*

Modul *Procedury* (viz obrázek 6) slouží k vytváření kalibračních procedur a k jejich provádění. K vytvoření je možné využít *Průvodce vytváření procedur*, nebo přímo manuálně v okně *Procedura*. První varianta je jednodušší a rychlejší.



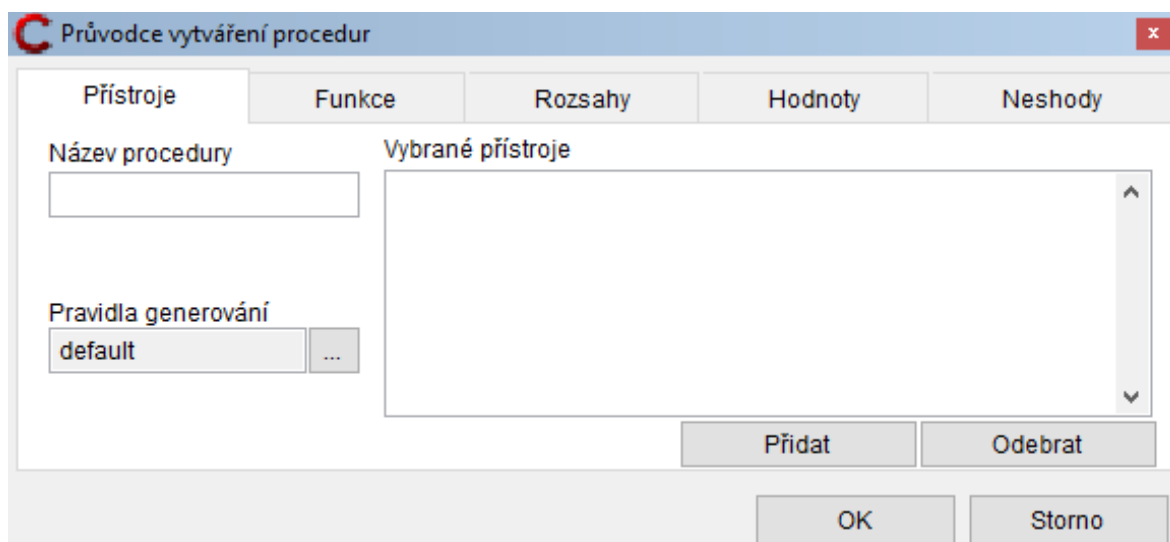
Obrázek 6: Okno modulu *Procedura* [6]

Okno modulu je rozděleno na sedm částí. V levém horním rohu se nachází *Stavové okno*. Zde je vyobrazena celá struktura procedury. Detailnější popis stavového okna se nachází v kapitole 4.3.2. Uprostřed horní části okna je zobrazeno *Schéma přístrojů*. Nachází se zde přístroje použité při kalibraci, jejich zapojení a konfigurace. Každý přístroj je označen barvou, která určuje jeho postavení v proceduře. UUT je označeno modrou, etalon červenou a ostatní přístroje jsou označeny šedou barvou. Pokud je přístroj připojen k hlavní sběrnici, tak spojnice má oranžovou barvu. Šedá spojnice naopak značí, že hodnota byla převedena převodníkem. Pod schématem je umístěn *Informační řádek*, který popisuje aktuálně prováděnou operaci při spuštění kalibraci. Pod Informačním řádkem se nachází *Pokyny pro obsluhu*, případně při manuálním měření je zde vstupní okno pro zadávání hodnot. V pravém horním rohu se nachází okno *Kamera* s běžícím videem (při využití kamerového snímání), ovládacími tlačítky pro posun obrazu, nastavení rozlišení a vnějších podmínek (např. jas, kontrast). Pod kamerou je okno určené pro *Odměry*, kde jsou zobrazeny jednotlivé naměřené hodnoty. Spodní polovinu modulu procedury zabírá *Protokol* se seznamem všech kontrolovaných bodů, který je následně doplňován v průběhu kalibrace o naměřené a vypočtené hodnoty.



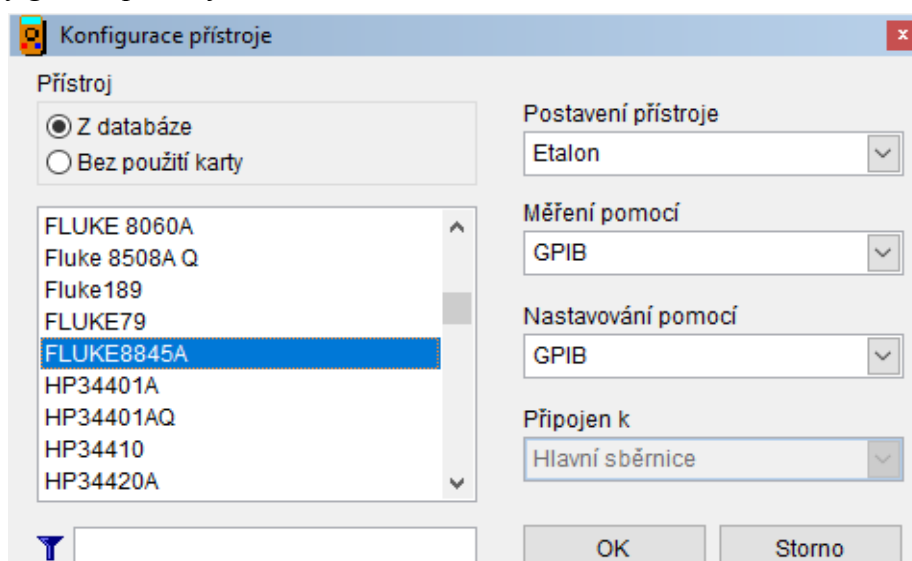
### 4.3.1 Průvodce vytváření procedur

Nová procedura se vytváří stiskem tlačítka *Nový* v úvodním okně modulu *Procedura*. V tomto kroku se otevře *Průvodce vytváření procedur*, viz obrázek 7. Průvodce obsahuje pět karet – *Přístroje*, *Funkce*, *Rozsahy*, *Hodnoty* a *Neshody*.



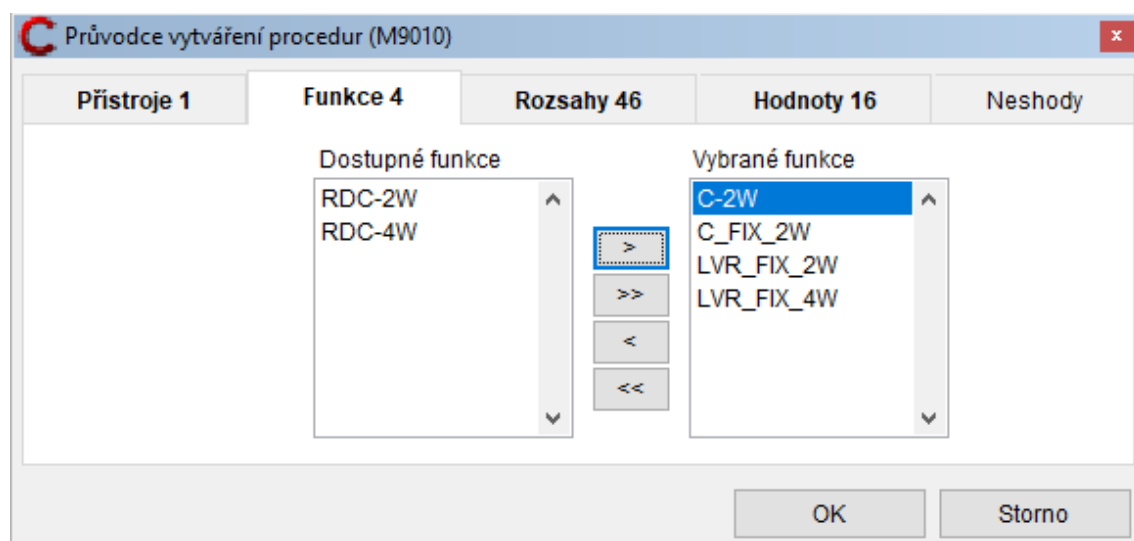
Obrázek 7: Okno *Průvodce vytváření procedur*

Uživatel jako první zadá název pro vytvářenou proceduru v okně *Název procedury*. *Pravidla generování* zůstávají ve většině případů nastavené na „implicitní“. Jiná pravidla se například využívají pro kontrolu zdrojů, případně měřidel. Následně do okna *Vybrané přístroje* lze za pomoci tlačítka *Přidat* vložit přístroje. Nutné je zde vložit pouze kontrolovaný přístroj UUT, nicméně se doporučuje přidat všechny přístroje, kterých hodláme využívat v samotné proceduře. Po stisknutí tlačítka *Přidat* se otevře okno *Konfigurace přístroje*, viz obrázek 8.



Obrázek 8: Okno *Konfigurace přístroje* vkládaného do procedury

V levé části se nachází rolovací seznam s dostupnou databází přístrojů. Najdeme zde přístroje, které vlastní svou vytvořenou kartu přístroje. V pravé části položka *Postavení přístroje* určuje, zda přidávaný přístroj bude etalon, zdroj, nebo kontrolovaný přístroj UUT. V průvodci není možné přidávat převodníky ani přepínače. Tyto přístroje lze doplnit následně při úpravě vlastní procedury. Záložky *Měření pomocí* a *Nastavení pomocí* umožňují vybrat způsob, jakým budeme přístroj ovládat, respektive konfigurovat. Jednotlivé možnosti komunikačních rozhraní jsou rozebrány v kapitole č.5. V konfiguraci přístroje se nachází ještě také okno *Připojen k*, tato položka je implicitně nastavena na připojení k hlavní sběrnici a nelze ji modifikovat. Pokud je nutné přístroje přepojit, například z důvodu vložení převodníku, tak je potřeba připojení upravit v samotné proceduře.



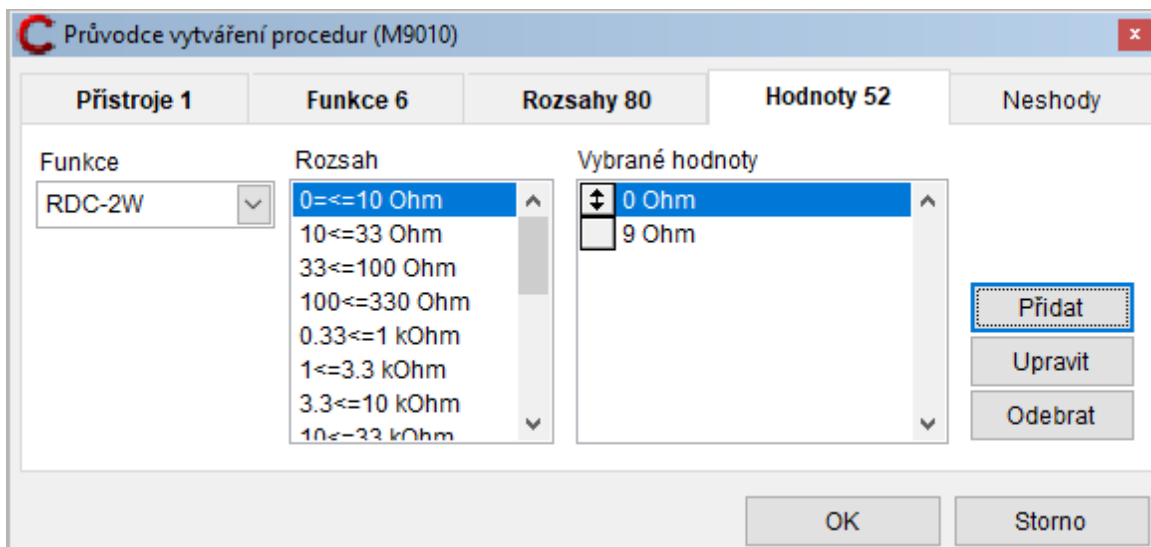
**Obrázek 9: Karta *Funkce* v průvodci vytváření procedur**

V kartě *Funkce* (viz obrázek 9) za pomoci standardních šipek pro přesun jedné, případně více funkcí, vybíráme funkce, kterých chceme využívat. Jsou zde dostupné pouze funkce definované v kartě přístroje použitého jako UUT.

V další kartě *Rozsahy* uživatel vybere pro všechny vybrané funkce rozsahy měření. Všem rozsahům je taky možné přiřadit typ z nabídky běžný, nejnižší, střední, nejvyšší, případně specifický. Přiřazení typů je vhodné při automatickém sestavování procedury.

Karta *Hodnoty* (viz obrázek 10) slouží k vybrání hodnot, pro každý určitý rozsah a funkci, ve kterých bude provedeno měření. K úpravě slouží tři tlačítka v pravé části okna, konkrétně tlačítka *Přidat*, *Upravit* a *Odebrat*. Zároveň je zde možné upravovat pořadí hodnot, v jakém budou měřena.

Poslední karta se nazývá *Neshody*. Zde se zobrazují jednotlivé body, které nelze měřit na některém z použitých přístrojů v proceduře. V případě výskytu neshod, průvodce umožňuje návrat k předchozímu vybranému kroku a hodnoty zde upravit. Doporučuje se před ukončením průvodce případné neshody odstranit z důvodu, aby nezpůsobovaly problémy při samotném chodu programu.

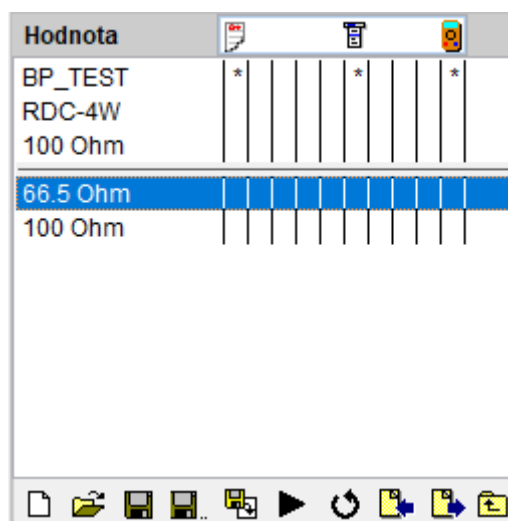


Obrázek 10: Karta *Hodnoty* v průvodci vytváření procedury

### 4.3.2 Stavové okno

Stavové okno zobrazuje celou hierarchii procedury v následné postupnosti:

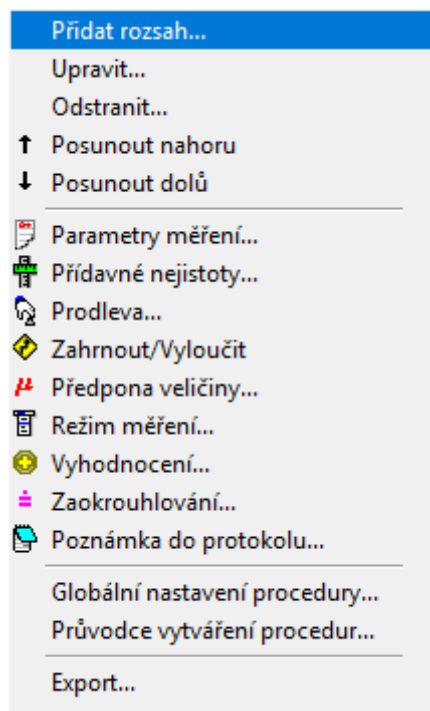
*procedura* → *funkce* → *rozsahy* → *kontrolní body*



Obrázek 11: Stavové okno

Pro přechod na nižší úroveň mezi jednotlivými úrovněmi slouží dvojitě poklepnání myší. Pro návrat na vyšší úroveň slouží tlačítko *Nahoru* v pravém dolním rohu pod stavovým oknem. Pro jednoduchou orientaci je v horní části okna nadpis dané úrovně a oddělovací čára, pod kterou se nacházejí informace z dané úrovně (viz obrázek 11).

Ve stavovém okně také každý řádek vlastní deset sloupců, oddělených svislými čarami. Díky nim je možné měnit nastavení procedury, přičemž změna se projeví znakem hvězdičky „\*“ v určitém sloupci. Zároveň se tato změna projeví zobrazením ikony v panelu s nadpisem úrovně. Nabídku individuálního nastavení zobrazuje obrázek 12.



**Obrázek 12: Nabídka individuálních nastavení stavového okna**

Popis jednotlivých položek nabídky:

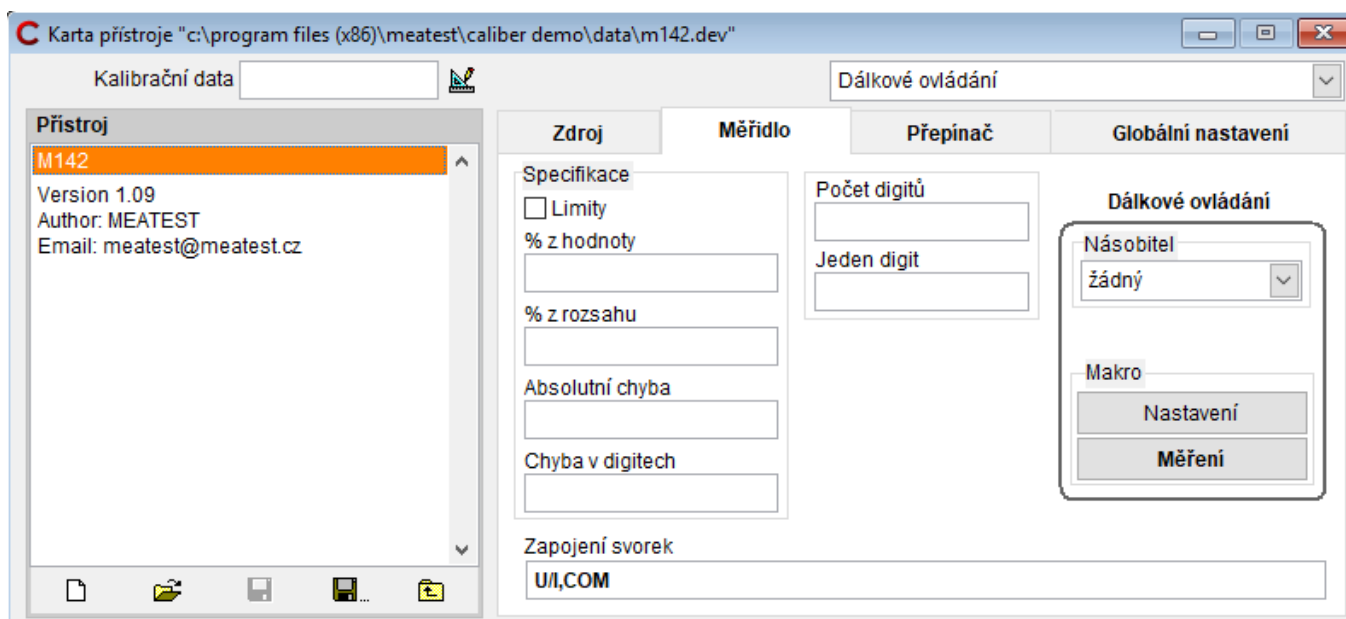
- *Parametry měření* – nastavuje se zde počet odměrů etalonu, UUT, povolená chyba v procentech a koeficient rozšíření, využívaný pro výpočet standardní rozšířené kalibrační nejistoty. Počty odměrů se využívají pro výpočet nejistoty typu A.
- *Přídavné nejistoty* – slouží k nastavení hodnot, připočítávaným k nejistotám typu A a B v procentech.
- *Prodleva* – umožňuje vložit do programu bod zastavení, při kterém se zobrazí textové hlášení nebo obrázek.
- *Zahrnout/Vyloučit* – pomocí této funkce lze zkrátit obsáhlou proceduru v případě, že není potřeba kalibrovat hodnotu, rozsah, případně některou z funkcí. Vynechaná položka nebude obsažena v kalibračním protokolu.
- *Předpona veličiny* – umožňuje nastavit předponu (micro, mili, kilo atd.), která bude použita v protokolu. Lze ji definovat pouze na úrovni rozsahu a platí pro celý rozsah.
- *Režim měření* – slouží k úpravě postupu měření, přidat nebo odebrat úkoly pro jednotlivé kategorie.
- *Vyhodnocení* – lze zde nastavit hodnotu, vzorec, které se budou používat pro výpočet nejistot a chyb.
- *Zaokrouhlování* – mění způsob zaokrouhlování jednotlivých sloupců.
- *Poznámka do protokolu* – umožňuje dopsat jakékoliv další informace do výstupního protokolu (např. nějaký parametr, hodnotu z přístroje, apod.).

- *Globální nastavení procedury* – v tomto okně lze určit, při které chybě se procedura zastaví. Například při hrubé chybě, která znamená, že naměřené hodnota převyšuje více než pětkrát povolenou hodnotu.
- *Průvodce vytváření procedur* – umožňuje návrat do průvodce, díky čemu je možné provádět změny v již vytvořené proceduře.
- *Export* – vyexportuje strukturu kalibrační procedury do textového souboru. Soubor obsahuje funkci, rozsah, hodnotu a použité etalony pro každý kalibrační bod.

Program také umožňuje exportovat celou proceduru, případně importovat. Taková procedura má příponu \*.pre.

## 4.4 Modul *Karta přístroje*

Každý přístroj, který chceme využívat v procedurách, musí vlastnit svou kartu přístroje. Vytváření karty přístroje je mnohem složitější proces než vytváření procedury. Při vytváření je potřeba znát funkce, rozsahy a další specifikace přístroje. V případě, že přístroj je možné ovládat z počítače – je nutné znát popis příkazů pro dálkové ovládání. Již vytvořené karty přístrojů lze stáhnout z internetové stránky firmy Meatest s.r.o.



Obrázek 13: Základní okno modulu *Karta přístroje*

Základem modulu je podobně jako u modulu procedura *Stavové okno*. Ovládání je zde stejné, tj. dvojklik pro posun na nižší úroveň a tlačítko Nahoru pro přechod na vyšší úroveň. Struktura okna je zde tvořena postupností:

Přístroj → Funkce → Rozsah → Parametr

V úrovni *Přístroj* je zobrazen název přístroje a poznámka o tvůrci karty, jeho emailu a o kterou verzi se jedná.

Úroveň *Funkce* umožňuje přidávat či odebírat funkce, které chceme, aby přístroj obsahoval.

Úroveň *Rozsah* slouží opět k přidání, úpravě nebo odebrání rozsahu. Při tvorbě rozsahů vždy postupujeme od nejmenšího rozsahu k největšímu.

Na nejnižší úrovni *Parametr* je možné nastavit parametr rozsahu. Lze tak udělat pouze, když daná funkce nějaký parametr obsahuje. Program rozlišuje funkci s jedním parametrem, kdy se program chová rovnocenně jako u rozsahů. Pokud funkce obsahuje více parametrů, nelze zadávat na této úrovni specifikace, zapojení svorek ani makra, vyjma jednoho, a to dálkového makra nastavení. Lze tedy pro každý parametr napsat vlastní makro *Nastavení*, případně zapsat jediné makro na úrovni rozsahu.

V pravé části okna modulu se nachází rolovací seznam, sloužící k výběru komunikačního rozhraní. Pro jeden přístroj je možné nastavit více možností ovládní. Nejčastěji využívaný způsob je dálkové ovládní. Nastavovací prvky jsou zde společné pro všechny dálkové sběrnice (GPIB, RS232 a VISA). Pokud je takto definované makro, není potřeba psát další makra pro samostatné sběrnice. To se doporučuje pouze v případě, že se komunikace po různých sběrnících liší.

Pod seznamem leží čtyři karty – *Zdroj, Měřidlo, Přepínač a Globální nastavení*. V těchto kartách se nastavují parametry přístroje v daných funkcích. Prvním parametrem je část *Specifikace*. Slouží k zápisu základních chyb daného přístroje, udávaných nejčastěji v procentech z rozsahu nebo z hodnoty. Další možností je absolutní chyba udávaná v základních jednotkách funkce. Chyba v digitech je dostupná pouze u měřidel.

Vedlejší pole obsahuje položky *Počet digitů* a *Jeden digit*. Udávají rozlišení jednoho digitu přístroje. Fungují pouze u měřidel. V případě, jedná-li se o analogový přístroj, do pole *Počet digitů* se zapíše hodnota „ANALOG“.

*Násobitel* umožňuje zadání hodnot při čtení přístroje v jiných hodnotách než v základních. Je zde možnost vybrat předponu v rozsahu od „atto“ ( $10^{-18}$ ) až „tera“ ( $10^{12}$ ).

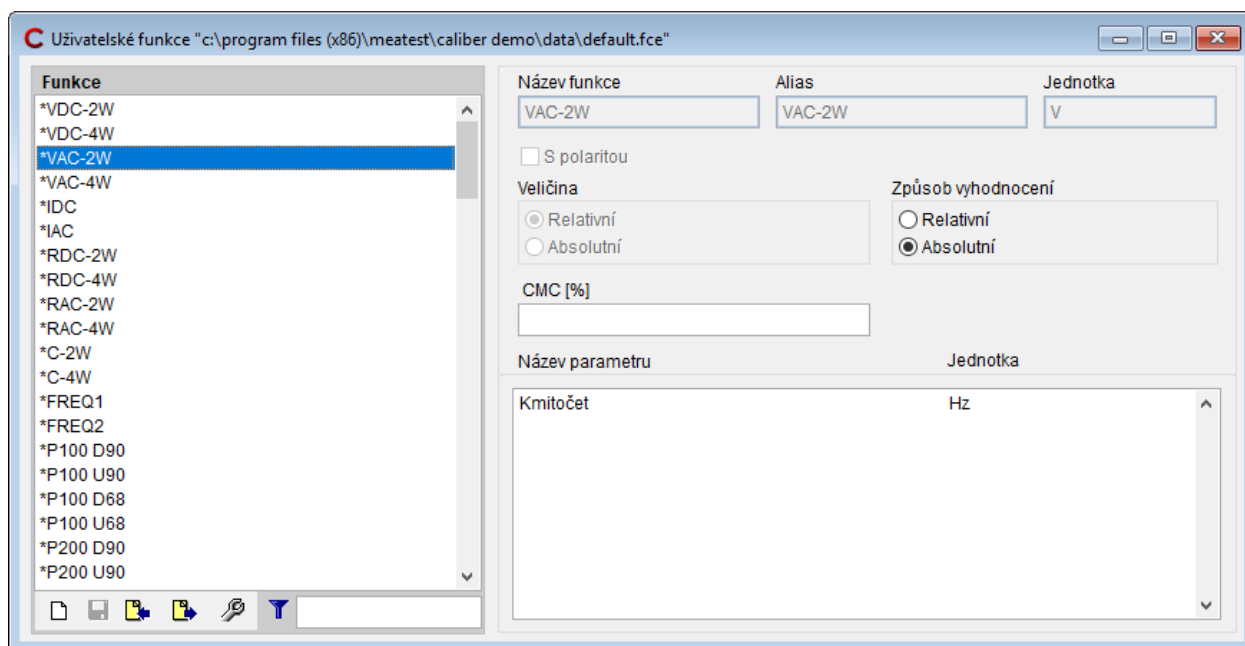
Makro jsou komunikační řetězce sloužící ke komunikaci s přístrojem. Makro *Nastavení* a *Měření* se nastavuje u dálkově ovládaných zdrojů i měřidel. Makro *Zapnutí svorek* a *Vypnutí svorek* se nastavuje pouze u dálkově ovládaných zdrojů.

Karta *Globální nastavení* složí k nastavení a definování makra pro otevření a zavření sběrnice využívané pro komunikaci se zařízením. Pro příklad: při měření za pomoci sběrnice GPIB je možné nastavit adresu připojeného přístroje 1 až 30, kde adresa 0 je vyhrazena pro počítač. V této kartě se zároveň nachází okno *Podmínky převodníku*, ve kterém jsou zobrazeny všechny převodní podmínky přístroje. Při běhu kalibrace jsou tyto podmínky vyhodnocovány a následně je vybrán vhodný převod podle vstupní a výstupní funkce. Převodník je určen třemi funkcemi – vstupem, výstupem a vlastním nastavením. Převodníky dělíme na reálné a virtuální. *Reálné převodníky* jsou skutečné přístroje. Jejich nastavení není funkce „void“. Tyto přístroje musí mít svou vlastní kartu přístroje. Příkladem tohoto převodníku je například proudový bočník, který slouží k převodu napětí na proud. *Virtuální převodníky* jsou nereálné přístroje, které nevlastní svou kartu přístroje. Z tohoto důvodu mají nulovou chybu. Jejich funkce je nastavena na „void“. Jejich funkcí je převod jedné funkce na jinou funkci, případně

přepočtení hodnoty. Například převodník, který převádí dvousvorkové odpory na čtyřsvorkové odpory. Je to z toho důvodu, že program Caliber požaduje, aby všechny přístroje v proceduře měly stejné funkce.

#### 4.4.1 Uživatelské funkce

Modul *Uživatelské funkce* slouží k definování vlastností využívaných přístrojů. Funkce program využívá interně a jejich účelem je sladění nastavení jednotlivých přístrojů na stejnou funkci. Obrázek 14 zobrazuje funkci střídavého dvousvorkového napětí. Je zde zobrazen *Název funkce* a její *Jednotka*. Funkce se následně dělí na *Relativní* a *Absolutní*. *Absolutní* funkce mají definovaný začátek v pevném bodě a končí rovněž v pevném bodě. Koeficient CMC je následně udáván v jednotkách měřené veličiny. *Relativní* funkce začínají v nule nebo téměř v nule a končí v pevném bodě. CMC je zadáno v procentech. Pole CMC udává kalibrační měřicí schopnost. Jedná se o nejvyšší úroveň kalibrace nebo měření běžně nabízených zákazníkům, odpovídající pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.

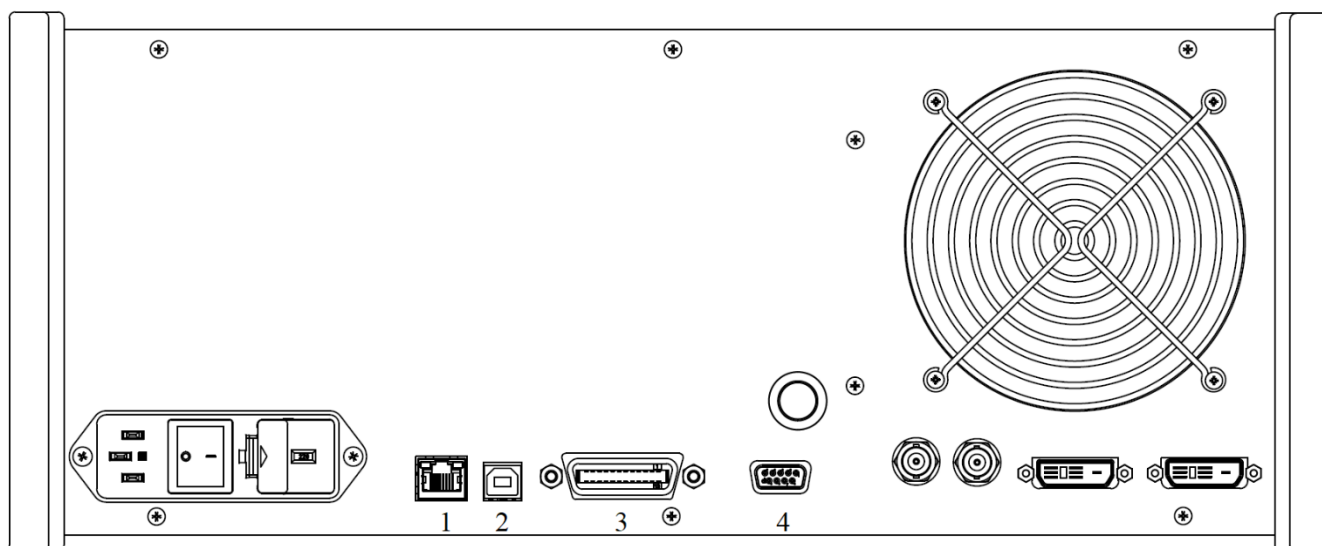


Obrázek 14: Okno *Uživatelské funkce*

Po instalaci programu je dostupná sada základních funkcí, které jsou označeny znakem „\*“. U těchto funkcí je možné změnit pouze hodnotu CMC a způsob vyhodnocení. Pro vytváření nových funkcí využíváme právě tento modul.

## 5. KOMUNIKAČNÍ ROZHRAŇÍ

Kapitola popisuje komunikační rozhraní, kterých je možné využít při komunikaci s kalibrátorem 9010. Konkrétně se jedná o sériové sběrnice RS232, GPIB, USB, LAN. Tyto komunikační rozhraní jsou umístěny na zadní straně přístroje (viz obrázek 15)



Obrázek 15: Zadní strana kalibrátoru 9010 [3]

Konektory jsou popsány čísly, kde:

1. RJ-45
2. USB
3. RS232
4. GPIB

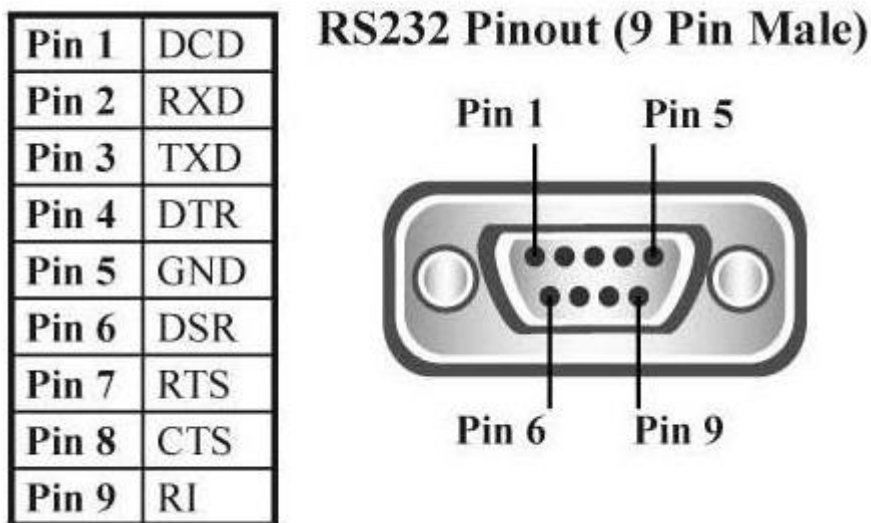
### 5.1 RS232

Jedná se o sériové komunikační rozhraní využívající asynchronního přenosu dat na základě definované modulační rychlosti. V dnešní době je toto rozhraní nahrazováno komplexnějším rozhraním USB, nicméně v průmyslovém odvětví je stále hojně využíváno. Obrázek 16 zobrazuje konektor RS232 a popis jeho jednotlivých pinů.

Sběrnice RS232 využívá dvou napěťových úrovní – logické 1 a 0. Přičemž zápornou hodnotou signálu je definována logická 1, zatímco kladnou hodnotou signálu je definována hodnota logická 0.

Tab. 1 zobrazuje povolené napěťové úrovně. [7]





Obrázek 16: Konektor RS232 [8]

Tab. 1: Toleranční pole napětí při komunikaci přes RS232 [9]

Logická 0	+ 5 V do +15 V	+3 V do +25 V
Logická 1	-5 V do - 15 V	-3 V do -25 V
Nedefinováno	-3 V do +3 V	

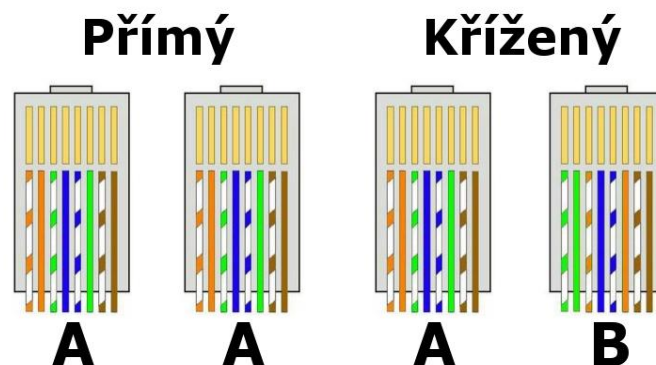
Komunikaci po sběrnici RS232 ukazuje obrázek 17. Využívá se zde START bitu na začátku komunikace pro synchronizaci (nevyužívá se zde například signál CLK). Dále po prvním START bitu následují datové bity. Jejich velikost většinou bývá 8 bitů. Po datových bitech se nachází paritní bit, jeho funkcí je zabezpečovat přenos dat. Princip spočívá v sečtení logických jedniček ve vysílacím zařízení a následně je tento počet doplněn paritním bitem podle domluvené podmínky lichého nebo sudého počtu logických jedniček. Rozlišujeme zde sudou paritu a lichou paritu. Příkladem, pokud ve vysílacím zařízení napočítáme tři logické jedničky a chceme kontrolovat lichou paritu, paritní bit je nastavený v logické nule – přijímač pochopí, že zprávu přijal správně. Avšak kdybychom kontrolovali sudou paritu a paritní bit měli stále nastavený na logické nule - přijímač pozná, že zprávu přijal špatně. Tuto zprávu tedy zahodí a požádá o novou. Nakonec je celý přenos zakončen jedním nebo dvěma STOP bity. [9]



Obrázek 17: Příklad komunikace pomocí sběrnice RS232 [10]

## 5.2 LAN (Ethernet)

Ethernet je technologie, která je v současnosti velmi využívána pro kabelovou komunikaci počítačů a různých elektronických zařízení v lokální síti. Pro připojování do sítě LAN se nejčastěji používá kroucená dvojlinka zakončená konektorem RJ-45. Kabely rozhraní, které jsou zapojeny v konektoru RJ-45, mají dvě možnosti zapojení – přímé a s překřížením. Rozdíl těchto zapojení je zobrazen viz obrázek 18. Přímé zapojení se využívá pro připojování zařízení v topologii, zatímco křížené se využívá pro přímé spojení dvou zařízení. [11]



Obrázek 18: Zapojení kabelů v konektoru RJ-45 [12]

Komunikace probíhá následujícím způsobem. Zařízení – připojené do sítě, které hodlá poslat datový paket, začne skenovat sběrnici, jestli na ni již neprobíhá jiná komunikace, aby nedošlo ke kolizi. V případě, že na sběrnici neprobíhá komunikace – zařízení odešle datový paket, který postupně putuje po zařízeních připojených v síti, a ty kontrolují, zda nejsou příjemci. Příjemce pak následně data zpracuje a odstraní ze sběrnice.

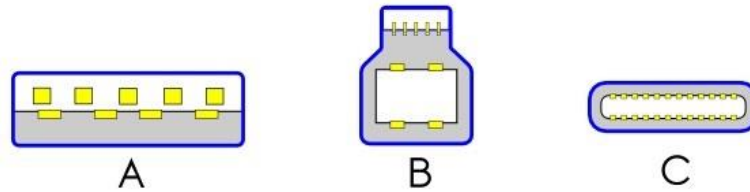
## 5.3 USB

Univerzální sériová sběrnice vznikla v roce 1995 a v poslední době je nejrozšířenější sběrnici pro připojování různých zařízení, která postupně nahrazuje sběrnici RS232. Vyskytuje se ve třech standardech – 2.0, 3.0 a 3.1. Nejstarší verze 2.0 se používá od roku 2000 a dosahuje přenosové rychlosti 480 Mbit/s. Další verzí je 3.0. Oproti svému předchůdci nabízí zvýšenou přenosovou rychlost, a to konkrétně až na 5 Gbit/s. Výhodou je zachování tvaru konektoru se svým předchůdcem, tudíž je zpětně kompatibilní. Nejnovější verzí je 3.1. Nejčastěji se tato varianta vyskytuje u konektoru typu USB-C, což znamená, že již není kompatibilní s předchůdci. Tento typ konektoru se vyznačuje symetrickou konstrukcí a nabízí přenosovou rychlost až 10 Gbit/s. Novinkou je možnost využití i pro přenos obrazového signálu.

Komunikace po sběrnici funguje na způsobu „Plug and Play“. Výhodou tohoto způsobu je možnost připojení či odpojení zařízení za provozu bez nutnosti vypnout

hostitelské zařízení. Každé zařízení dostane po připojení k hostitelskému zařízení svoji adresu a následně jsou staženy příslušné ovladače nutné k ovládání používaného zařízení.

Předností USB je zároveň možnost využít sběrnici pro napájení. Konkrétně USB poskytuje připojeným zařízením napětí 5 V. Nicméně USB-C už je schopné dodávat proud až 5 A při 20 V. Což je zároveň současné maximum této sběrnice. [14]

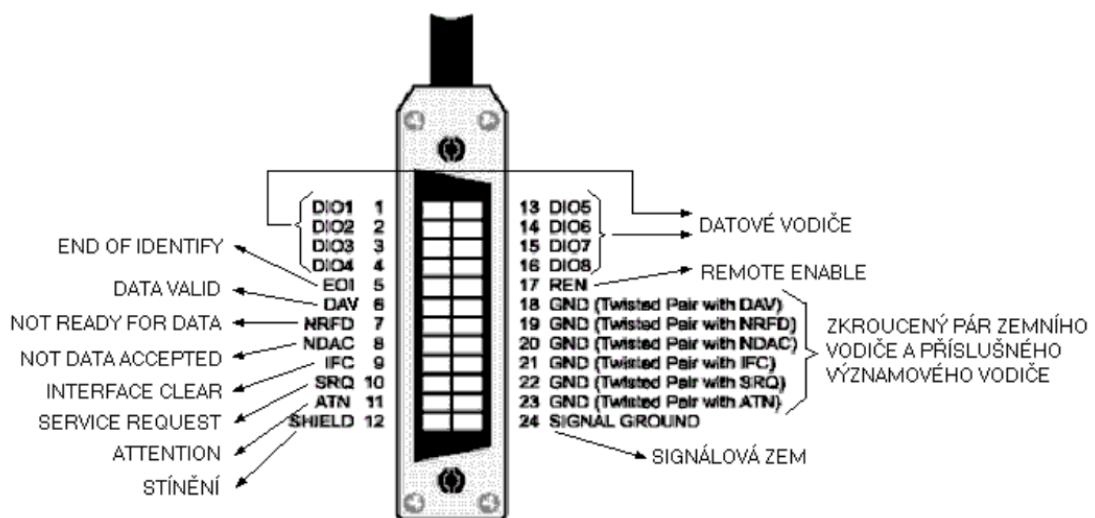


Obrázek 19: Typy konektoru USB [13]

## 5.4 GPIB

GPIB (General Purpose Interface Bus) je sběrnice vytvořená v roce 1972 společností HP. Známa též pod názvem IEEE 488. Smyslem pro vytvoření této sběrnice byla snaha o sjednocení různých sběrnic od různých firem v jednu univerzální. V současné době se jedná o jednu z nejrozšířenějších sběrnic k propojování měřících systémů. Jedná se o paralelní sběrnici, která dokáže propojit až 15 zařízení, přičemž maximální délka sběrnice může být až 20 metrů. Tato vzdálenost může být rozšířena tzv. extendery, neboli zesilovači. Maximální přenosová rychlost je 1 MB/s. Pro komunikaci sběrnice využívá tzv. negativní TTL logiku. Logická 1 je zde reprezentována signálem menším než 0,8 V a logická 0 signálem větším než 2 V.

Konektor GPIB se skládá z 24 pinů – 8 datových pinů, 8 řídicích pinů a 16 aktivních signálových vodičů. Obrázek 20 – zobrazení rozmístění jednotlivých pinů. [15]



Obrázek 20: Popis jednotlivých pinů konektoru GPIB [15]

## 5.5 VISA

VISA, celým názvem *Virtual Instrument Software Architecture*, je průmyslový standart vytvořený roku 1995 ve spolupráci několika společností. Byl vytvořen z důvodu poskytnutí programovacího a konfiguračního rozhraní mezi hardwarem a vývojovým prostředím pro zařízení obsahující RS232, GPIB, USB, Ethernet a další. [16]

## 5.6 SCPI

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) je společenství firem, snažících se o vývoj jednotného programovacího jazyka pro komunikaci počítače s měřicími přístroji. Standart SCPI tedy zavádí systém příkazů, které je možné využít pro snadnou komunikaci mezi přístroji různých výrobců a zároveň zde nezáleží na komunikačním rozhraní, přes které jsou připojeny. [17]

Příkazy SCPI jsou uspořádány v hierarchické struktuře. Přičemž samotné příkazy se dají rozdělit na společné příkazy a specifické příkazy, kterou jsou rozdílné pro různé přístroje. Společné příkazy dokážeme rozpoznat díky počátečnímu znaku „\*“. Specifické přístroje lze najít v technické dokumentaci přístroje.

## 6. KOMUNIKAČNÍ PŘÍKAZY

Tato kapitola se zabývá přehledem komunikačních příkazů [3] používaných pro komunikaci s odporovou a kapacitní dekádou v kalibrátoru 9010. Příkazy jsou psány v jazyce SCPI.

### 6.1 Základní příkazy pro komunikaci s kapacitní dekádou

- **Popis:** Nastavuje hodnotu kapacity. V případě fixního režimu je nastavena nejbližší hodnota a navrácena kalibrovaná hodnota.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:CAPacitance[:AMPLitude]
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:CAPacitance[:AMPLitude]  
<DNPD><UNIT>  
[:SOURce]:CAPacitance[:AMPLitude]?
  - **Parametry:** <DNPD>                   Rozsah 100e-12 ... 1.0  
(implicitně 1e-7)  
<UNIT>                               {F}
  - **Příklad:** CAP 1e-7  
CAP?                               Odezva: 1.000000E-07 F
  
- **Popis:** Nastavení pevné hodnoty kapacity.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:CAPacitance:FIXed
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:CAPacitance:FIXed <CPD>  
[:SOURce]:CAPacitance:FIXed?
  - **Parametry:** <CPD>  
{100U|33U|10U|3U3|1U|330N|100N|33N|10N|3N3|1N|330P|220P} (implicitně 100U)
  - **Příklad:** CAP:FIX 100U  
CAP:FIX?                       Odezva: 100U
  
- **Popis:** Nastavení módu měření kapacity
  - **Příkaz:** [:SOURce]:CAPacitance:MODE
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:CAPacitance:MODE <CPD>  
[:SOURce]:CAPacitance:MODE?
  - **Parametry:** <CPD>                   {FIXed|VARIABLE} (implicitně FIX)
  - **Příklad:** CAP:MODE FIX  
CAP:MODE?                   Odezva: FIX

## 6.2 Základní příkazy pro komunikaci s odporovou dekádou

- **Popis:** Nastavuje hodnotu odporu. V případě fixního módu je nastavena nejbližší hodnota a navrácena kalibrovaná hodnota.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage][:AMPLitude]
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage][:AMPLitude] DNPD>[<UNIT>] [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage][:AMPLitude]?
  - **Parametry:** <DNPD>                   Rozsah 0.0 ... 5e9 (implicitně 100.0)  
<UNIT>                         {OHM}
  - **Příklad:** RES 100.0  
RES?                             Odezva: 1.000000E+02 OHM
  
- **Popis:** Kompenzace odporu drátu.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:COMPensation
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:COMPensation <DNPD>[<UNIT>] [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:COMPensation?
  - **Parametry:** <DNPD>                   Rozsah 0.0 ... 1.0 (implicitně 0.0)  
<UNIT>                         {OHM}
  - **Příklad:** RES:COMP 0.0  
RES:COMP?                   Odezva: 0.000000E+00 OHM
  
- **Popis:** Nastavení pevné hodnoty odporu.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:FIXed
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:FIXed <CPD> [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:FIXed?
  - **Parametry:** <CPD>  
{1G|100M|10M|1M|100K|10K|1K|100R|10R|1R|0R1|0R}  
(implicitně 1G)
  - **Příklad:** RES:FIX 1G  
RES:FIX?                   Odezva: 1G
  
- **Popis:** Nastavení módu měření odporu.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:MODE
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:MODE <CPD> [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:MODE?
  - **Parametry:** <CPD>                   {FIXed|VARiable} (implicitně FIX)
  - **Příklad:** RES:MODE FIX  
RES:MODE?                   Odezva: FIX

- **Popis:** Nastavení způsobu měření odporu.
  - **Příkaz:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:WIRE
  - **Syntaxe:** [:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:WIRE <CPD>  
[:SOURce]:RESistance[:LVOLtage]:WIRE?
  - **Parametry:** <CPD> {2W|4W} (implicitně 2W)
  - **Příklad:** RES:WIRE 2W  
RES:WIRE? Odezva: 2W

## 7. KALIBRAČNÍ PROCEDURA

Tato kapitola se zabývá tvorbou samotné měřicí procedury v programu Caliber. Měření zadaného kalibrátoru 9010 bude prováděno pomocí multimetru *Fluke 8508A* a RLC mostu *Agilent E4980A*. Karty multimetru *Fluke 8508A* a RLC mostu *Agilent E4980A* jsou již vytvořeny společností Meatest s.r.o. a není nutné je znovu vytvářet.

### 7.1 Vytvoření karty přístroje kalibrátoru 9010

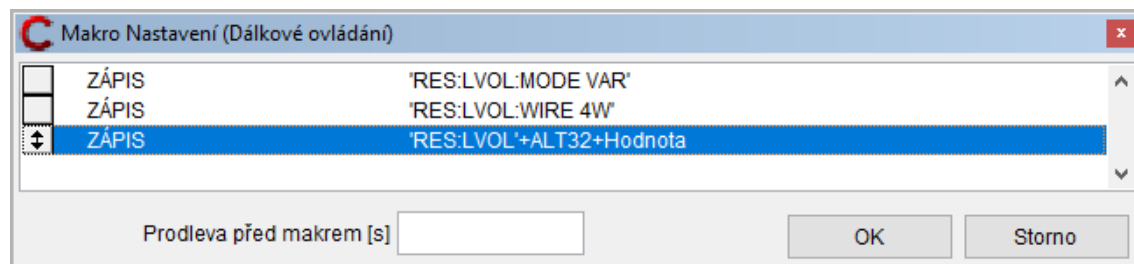
Z důvodu, že se jedná o nový přístroj, není tedy doposud ke stažení dostupná karta přístroje 9010. Nově vytvořená karta se nazývá M9010 (označení s písmenem se již nevyužívá a přístroj se tedy jmenuje pouze číslovkou – tj. 9010). Jelikož přístroj bude využit pouze jako zdroj, jsou všechna nastavení provedena v kartě *Zdroj*. Jsou zde přidány funkce, které budeme využívat při kalibraci. Jedná se o funkce:

- RDC-2W Dvouvodičové měření odporu (Adjustable mode)
- RDC-4W Čtyřvodičové měření odporu (Adjustable mode)
- LVR\_FIX\_2W Dvouvodičové měření odporu (Fixed Resistance mode)
- LVR\_FIX\_4W Čtyřvodičové měření odporu (Fixed Resistance mode)
- C-2W Dvouvodičové měření kapacity (Adjustable mode)
- C\_FIX\_2W Dvouvodičové měření kapacity (Fixed mode)

Kalibrátor 9010 umožňuje měření ve dvou režimech. Buď se měří fixní nebo simulované hodnoty odporu, respektive kapacity. Proto bylo nutné vytvořit funkce LVR\_FIX\_2W, LVR\_FIX\_4W a C\_FIX\_2W.

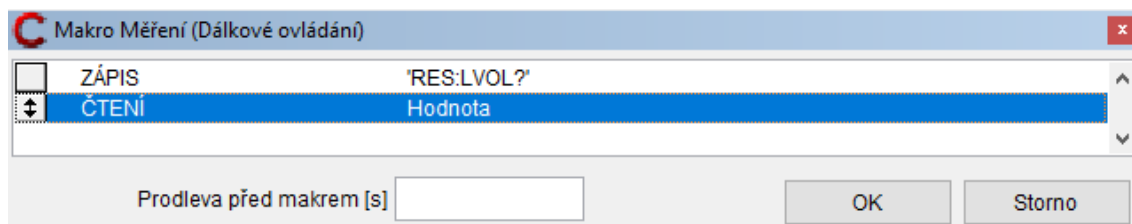
#### 7.1.1 Funkce RDC-2W a RDC-4W

Jedná se o funkce pro měření odporu dvouvodičově a čtyřvodičově v simulovaném režimu. Obě funkce jsou již obsaženy v základních funkcích programu. V položce *Zapojení svorek* (viz obrázek 13) je potřeba vyplnit, kterými svorkami budeme funkce kalibrovat. Pro funkci RDC-2W se jedná o svorky HI a LO. Pro funkci RDC-4W – HI, LO, I+ a I-. Ve zvoleném režimu pro dálkové ovládání je potřeba nastavit makro pro *Nastavení* (viz obrázek 21) dané funkce a *Měření* (viz obrázek 22).



Obrázek 21: Makro *Nastavení* pro funkci RDC-4W





**Obrázek 22: Makro *Měření* pro funkci RDC-4W**

Makra jsou napsána pomocí příkazů z kapitoly 6. Makro pro nastavení a měření na obrázcích je skoro totožné i pro funkci RDC-2W. Ta má pouze v makru *Nastavení* navíc příkaz pro kompenzaci odporu drátu, který je ve tvaru *'RES:LVOL:COMP 0.0'*. Příkaz pro měření *WIRE 4W* je změněný na *WIRE 2W*. Dalším krokem je přidání měřících rozsahů funkce a definování jejich chyb, které byly stanoveny výrobcem – firmou Meatest s.r.o. Rozsahy jsou pro obě funkce rovněž totožné. Tab. 2 zobrazuje rozsahy a jejich povolené chyby. Chybu z hodnoty udávanou v hodnotě ppm je potřeba pomocí rovnice 7.1 přepočítat na procenta.

$$\delta_H = \frac{ppm}{10000} [\%] \quad (7.1),$$

kde  $\delta_H$  ...chyba z hodnoty [%]  
 $ppm$  ...chyba výstupu [ppm]

**Tab. 2: Rozsah hodnot a jejich chyb pro funkci RDC-2W a RDC-4W [18]**

Rozsah odporu	Chyba výstupu [ppm]	Chyba z hodnoty [%]	Absolutní chyba [ $\Omega$ ]
0 $\Omega$ - 10 $\Omega$	300	0,030	0,001
10 $\Omega$ - 33 $\Omega$	250	0,025	0,001
33 $\Omega$ - 100 $\Omega$	150	0,015	0,001
100 $\Omega$ - 330 $\Omega$	100	0,010	0,003
330 $\Omega$ - 1 k $\Omega$	100	0,010	0,003
1 k $\Omega$ - 3,3 k $\Omega$	100	0,010	0,030
3,3 k $\Omega$ - 10 k $\Omega$	100	0,010	0,030
10 k $\Omega$ - 33 k $\Omega$	100	0,010	0,300
33 k $\Omega$ - 100 k $\Omega$	100	0,010	0,300
100 k $\Omega$ - 330 k $\Omega$	100	0,010	3,000
330 k $\Omega$ - 1 M $\Omega$	150	0,015	3,000
1 M $\Omega$ - 3,3 M $\Omega$	150	0,015	30,00
3,3 M $\Omega$ - 10 M $\Omega$	200	0,020	30,00
10 M $\Omega$ - 33 M $\Omega$	1000	0,100	300,0
33 M $\Omega$ - 100 M $\Omega$	2000	0,200	300,0
100 M $\Omega$ - 330 M $\Omega$	3000	0,300	300,0
330 M $\Omega$ - 1 G $\Omega$	7000	0,700	1000

## 7.1.2 Funkce LVR\_FIX\_2W a LVR\_FIX\_4W

Funkce LVR\_FIX\_2W a LVR\_FIX\_4W slouží k měření odporu ve fixním režimu. Celkový způsob je obdobný jako při tvorbě funkcí RDC-2W a RDC-4W z kapitoly 7.1.1. Hodnoty, včetně povolených chyb, pro funkci LVR\_FIX\_4W zobrazuje tab. 3. Pro přepočítání hodnot ppm kalibrace je použita rovnice 7.1.

**Tab. 3: Rozsah hodnot pro funkci LVR\_FIX\_4W [18]**

Nominální odpor	Chyba kalibrace [ppm]	Chyba z hodnoty [%]
0 $\Omega$	< 0,1 m $\Omega$	
0,1 $\Omega$	1000	0,1000
1 $\Omega$	100	0,0100
10 $\Omega$	20	0,0020
100 $\Omega$	15	0,0015
1 k $\Omega$	15	0,0015
10 k $\Omega$	15	0,0015
100 k $\Omega$	15	0,0015

Tab. 4 obsahuje hodnoty pro funkci LVR\_FIX\_2W. Hodnoty těchto odporů jsou fyzicky osazeny na odporové dekádě. Přístroj 9010 je softwarově upravený a měření od 1 M $\Omega$  po 1 G $\Omega$  lze měřit pouze dvouvodičově. Je to z důvodu snížení šumu.

**Tab. 4: Rozsah hodnot pro funkci LVR\_FIX\_2W [18]**

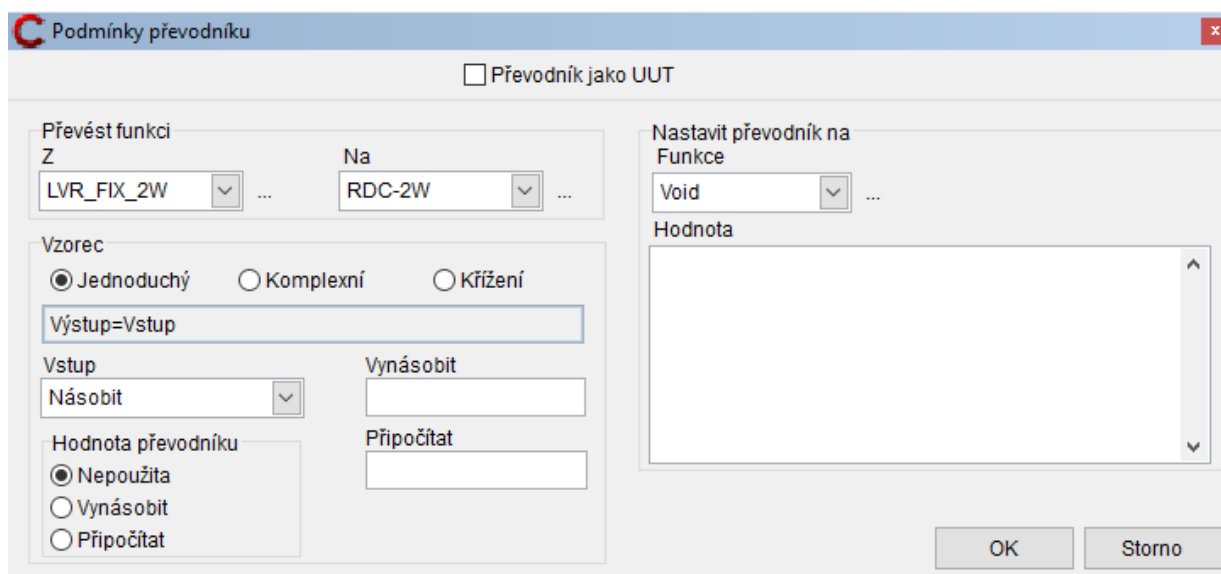
Nominální odpor	Chyba kalibrace [ppm]	Chyba z hodnoty [%]
0,1 $\Omega$	100000	10,0000
1 $\Omega$	20000	2,0000
10 $\Omega$	1000	0,1000
100 $\Omega$	150	0,0150
1 k $\Omega$	15	0,0015
10 k $\Omega$	15	0,0015
100 k $\Omega$	15	0,0015
1 M $\Omega$	30	0,0030
10 M $\Omega$	500	0,0500
100 M $\Omega$	1000	0,1000
1 G $\Omega$	2500	0,2500

Jelikož se jedná o nově vytvořené funkce je potřeba vytvořit převodníky abychom byli schopni je měřit i na straně etalonu, který tyto funkce neobsahuje. Nově vytvořený převodník se nazývá *CON\_FIX*. Umožňuje převod těchto dvou funkcí a funkce pro měření fixní kapacity *C\_FIX\_2W*. Jedná se o virtuální převodník – nejedná se o reálný přístroj. V podmínkách převodníku jsou tedy tyto tři podmínky:

Z *LVR\_FIX\_2W* na *RDC-2W* Převodník: *Void*

Z LVR\_FIX\_4W na RDC-4W Převodník: Void  
 Z C\_FIX\_2W na C-2W Převodník: Void

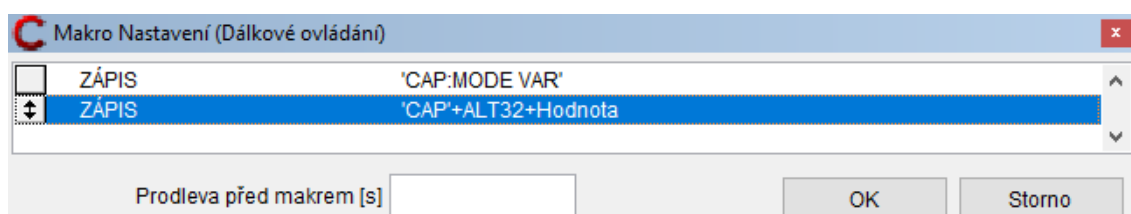
Samotné nastavení převodu zobrazuje obrázek 23.



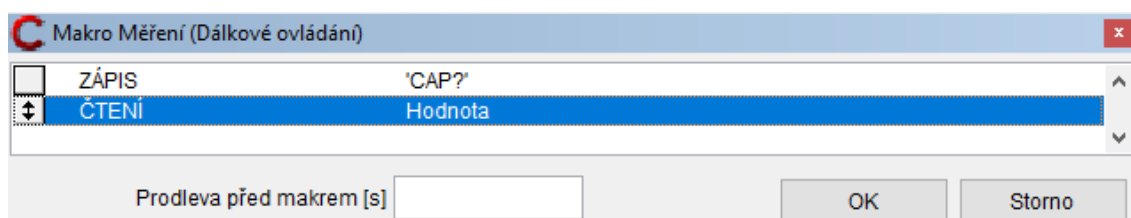
Obrázek 23: Podmínky převodníku pro měření LVR\_FIX\_2W

### 7.1.3 Funkce C-2W a C\_FIX\_2W

Jedná se o funkce pro měření kapacity. Makro *Nastavení* (viz obrázek 25) a makro *Měření* (viz obrázek 24). V makrech je jediná změna, a to v nastavení *MODE*, kde místo *VAR* (simulované) - změněno na *FIX* (fixní).



Obrázek 25: Makro *Nastavení* funkce C-2W



Obrázek 24: Makro *Měření* funkce C-2W

Hodnoty kapacity a absolutních chyb pro funkci měření fixních kapacit C\_FIX\_2W obsahuje tab. 5.

Tab. 6 zobrazuje jednotlivé rozsahy pro funkci C-2W, včetně chyby z hodnoty získané z přepočtu pomocí rovnice 7.1.

**Tab. 5: Hodnoty kapacit pro funkci C\_FIX\_2W [18]**

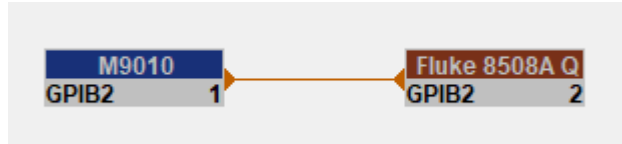
Nominální kapacita	Absolutní chyba
220 pF	15 pF
330 pF	20 pF
1 nF	60 pF
3,3 nF	165 pF
10 nF	500 pF
33 nF	1,65 nF
100 nF	5 nF
330 nF	16,5 nF
1 $\mu$ F	50 nF
3,3 $\mu$ F	165 nF
10 $\mu$ F	500 nF
33 $\mu$ F	1,65 $\mu$ F
100 $\mu$ F	50 $\mu$ F

**Tab. 6: Rozsahy kapacit pro funkci C-2W [18]**

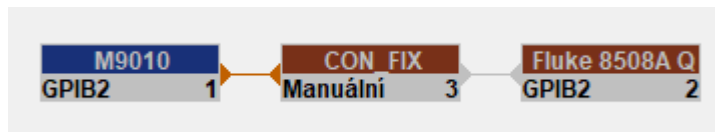
Rozsah kapacity	Chyba výstupu [ppm]	Chyba z hodnoty [%]
220 pF - 330 pF	5000	0,5
330 pF - 1 nF	5000	0,5
1 nF - 3,3 nF	5000	0,5
3,3 nF - 10 nF	5000	0,5
10 nF - 33 nF	5000	0,5
33 nF - 100 nF	5000	0,5
100 nF - 330 nF	10000	1,0
330 nF - 1 $\mu$ F	10000	1,0
1 $\mu$ F - 3,3 $\mu$ F	15000	1,5
3,3 $\mu$ F - 10 $\mu$ F	15000	1,5
10 $\mu$ F - 33 $\mu$ F	20000	2,0
33 $\mu$ F - 100 $\mu$ F	25000	2,5
100 $\mu$ F - 1 mF	30000	3,0
1 mF - 10 mF	50000	5,0
10 mF - 120 mF	50000	5,0

## 7.2 Schéma procedury

Schéma procedury pro kalibraci odporové dekády kalibrátoru 9010, pomocí multimetru *Fluke 8508A Q*, ukazuje obrázek 27. Jedná se o základní schéma, jelikož pro měření fixních hodnot odporu je schéma rozšířeno o převodník CON\_FIX, popsany v kapitole 7.1.2. Schéma procedury rozšířené o převodník ukazuje obrázek 26.

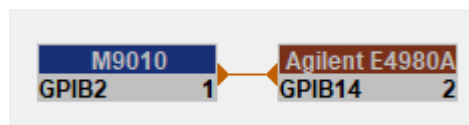


Obrázek 27: Základní schéma procedury pro kalibrátor 9010



Obrázek 26: Rozšířené schéma procedury pro kalibrátor 9010

Další schéma je pro měření kapacity. Zde je multimetr *Fluke 8508A Q* vyměněn za RLC most *Agilent E4980A*. Toto schéma zobrazuje obrázek 28 a platí pouze pro měření funkce C-2W. Pro měření funkce C\_FIX\_2W je přidán převodník CON\_FIX z totožného důvodu jako u měření fixního odporu.



Obrázek 28: Schéma pro měření kapacitní dekády kalibrátoru 9010

## 7.3 Body kalibrace

Jedná se o velmi důležitou součást kalibrace. Pro správné provedení kalibrace je nutné stanovit body, ve kterých se bude provádět. Průvodce tvorbou procedur, dokáže sám navrhnout body kalibrace, avšak na každý rozsah automaticky vytvoří pouze jeden bod. Proto je nutné tyto navržené body doplnit. Při doplňování je nutné rozlišit, zda se bude jednat o kalibraci při výrobě nebo o finální kalibraci před expedicí přístroje k zákazníkovi. V případě finální kalibrace je potřeba kalibrovat co nejvíce bodů v každém rozsahu. Nyní se jedná o kontrolní kalibraci při výrobě. Z tohoto důvodu byly pro simulované režimy zvoleny krajní hodnoty rozsahu a bod odpovídající 50% z rozsahu. U fixního režimu jsou vybrány všechny hodnoty pevného odporu, respektive kapacity. Kompletní seznam měřených bodů obsahuje Tab. 7. Jedná se již o finální tabulku bodů, již po úpravách, které vplynuly z prvních dvou měření.

**Tab. 7: Body kalibrace pro všechny funkce**

RDC-2W	RDC-4W	RDC_FIX_2W	RDC_FIX_4W	C-2W	C_FIX_2W
0,00 Ω	0,00 Ω	0,1 Ω	0 Ω	665,00 pF	1,0 nF
5,00 Ω	5,00 Ω	1 Ω	0,1 Ω	1,00 nF	3,3 nF
10,00 Ω	10,00 Ω	10 Ω	1 Ω	2,15 nF	10,0 nF
21,50 Ω	21,50 Ω	100 Ω	10 Ω	3,30 nF	33,0 nF
33,00 Ω	33,00 Ω	1 kΩ	100 Ω	6,65 nF	100,0 nF
66,50 Ω	66,50 Ω	10 kΩ	1 kΩ	10,00 nF	330,0 nF
100,00 Ω	100,00 Ω	100 kΩ	10 kΩ	21,50 nF	1,0 μF
215,00 Ω	215,00 Ω	1 MΩ	100 kΩ	33,00 nF	3,3 μF
330,00 Ω	330,00 Ω	10 MΩ		66,50 nF	10,0 μF
665,00 Ω	665,00 Ω	100 MΩ		100,00 nF	33,0 μF
1,00 kΩ	1,00 kΩ	1GΩ		215,00 nF	100,0 μF
2,10 kΩ	2,15 kΩ			330,00 nF	
3,30 kΩ	3,35 kΩ			665,00 nF	
6,60 kΩ	6,65 kΩ			1,00 μF	
10,00 kΩ	10,00 kΩ			2,15 μF	
21,50 kΩ	21,50 kΩ			3,30 μF	
33,00 kΩ	33,00 kΩ			6,65 μF	
66,50 kΩ	66,50 kΩ			10,00 μF	
100,00 kΩ	100,00 kΩ			21,50 μF	
215,00 kΩ	215,00 kΩ			33,00 μF	
330,00 kΩ	330,00 kΩ			66,50 μF	
660,00 kΩ	660,00 kΩ			100,00 μF	
1,00 MΩ	1,00 MΩ			550,00 μF	
2,15 MΩ				1,00 mF	
3,30 MΩ				5,50 mF	
6,65 MΩ				10,00 mF	
10,00 MΩ				65,00 mF	
21,50 MΩ				120,00 mF	
33,00 MΩ					
66,50 MΩ					
100,00 MΩ					
215,00 MΩ					
330,00 MΩ					
660,00 MΩ					
1,00 GΩ					

# 8. MĚŘENÍ

## 8.1 Formát naměřeného protokolu procedury

Výsledek měření je zaznamenáván do protokolu o devíti sloupcích. V řádcích jsou zaznamenávány postupně naměřené hodnoty, přičemž všechny hodnoty na daném řádku platí pro jeden kontrolní bod. Protokol se skládá z:

- *Funkce* – udává kontrolovanou funkci přístroje.
- *Rozsah* – udává měřený rozsah konkrétní funkce.
- *Etalon* – je zde zapsána naměřená etalonová hodnota v kontrolovaném bodě. Může být rozšířena o vedlejší kontrolovaný parametr.
- *UUT* – aritmetický průměr hodnot naměřených testovaným přístrojem.
- *Odchylka* – značí absolutní chybu kontrolovaného přístroje.
- *%spe* – procento čerpání specifikace. V případě, že je tato hodnota vyšší než 999%, je uvedena hodnota 999%.
- *Povoleno* – mezní povolená chyba přístroje – jedná se o hodnotu udávanou výrobcem a lze ji dohledat v technické dokumentaci.
- *Nejistota* – udává rozšířenou nejistotu měření.

Zároveň sloupce *Funkce*, *Rozsah*, *Etalon*, *UUT*, *Odchylka*, *Povoleno* a *Nejistota* jsou doplněny o příslušné jednotky.

Na konci řádku se nachází výsledný znak signalizující závěrečný výsledek kalibračního bodu. Mohou se zde vyskytovat tyto znaky:

- \* chyba naměřená je větší než mezní povolená chyba přístroje
- ~ měřená hodnota je nestabilní
- R všechny chyby a nejistoty jsou vztaženy k rozsahu
- ? výsledná naměřená hodnota se nachází v intervalu mezní povolená chyba  $\pm$  nejistota měření
- ok kontrolní bod je v pořádku

## 8.2 Výpočty použité v protokolu

Kapitola se věnuje popsání vzorců, pomocí kterých jsou počítány programem Caliber hodnoty do výsledného protokolu [5].

První výpočet je odchylka neboli absolutní chyba kontrolovaného přístroje.

$$\Delta = X_{UUT} - X_E \text{ [\Omega x F]} \quad (8.1),$$

- kde
- $\Delta$  ...absolutní chyba [ $\Omega$  x F]
  - $X_{UUT}$  ...hodnota naměřená testovaným přístrojem [ $\Omega$  x F]
  - $X_E$  ...hodnota naměřená etalonem [ $\Omega$  x F]

Následuje výpočet procenta čerpání ze specifikace. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí od -999% až 999%. Vyjadřuje procentuálně čerpání absolutní chyby hodnoty z maximální povolené absolutní chyby přístroje.

$$\%spe = \frac{\Delta}{Povoleno} [\%] \quad (8.2),$$

kde	<i>%spe</i>	...procento čerpání specifikace [%]
	$\Delta$	...absolutní chyba z předchozího výpočtu [ $\Omega \times F$ ]
	<i>Povoleno</i>	...mezí povolená chyba přístroje [ $\Omega \times F$ ]

Posledním výpočtem je nejistota. Jedná se o standardní rozšířenou nejistotu.

$$U = k_u \cdot u_c [\Omega \times F] \quad (8.3),$$

kde	$U$	... standardní rozšířená nejistota měření [ $\Omega \times F$ ]
	$k_u$	... koeficient rozšíření, zadaný řídicím souborem (implicitně $k_u=2$ )
	$u_c$	... kombinovaná standardní nejistota

### 8.3 Seznam použitých přístrojů

Multifunkční kalibrátor 9010

Označení	M9010
Sériové číslo	1
Rozhraní	GPIB

Multimetr Fluke 8508A

Označení	Fluke 8508A Q
Sériové číslo	103359191
Rozhraní	GPIB

RLC metr Agilent E4980A

Označení	Agilent E4980A
Sériové číslo	MY46203974
Rozhraní	GPIB

### 8.4 Měření č. 1

První měření proběhlo dne 18.4.2019. Podmínky okolí byly – teplota ( $22,5 \pm 1$  °C) a relativní vlhkost ( $29,8 \pm 15$  %). Výsledný protokol tohoto měření se nachází v příloze 1. Před tímto měřením ještě nebyla provedena kompletní justáž kalibrátoru. Toto měření lze tedy považovat za zkušební měření pro doladění funkčnosti vytvořené procedury.



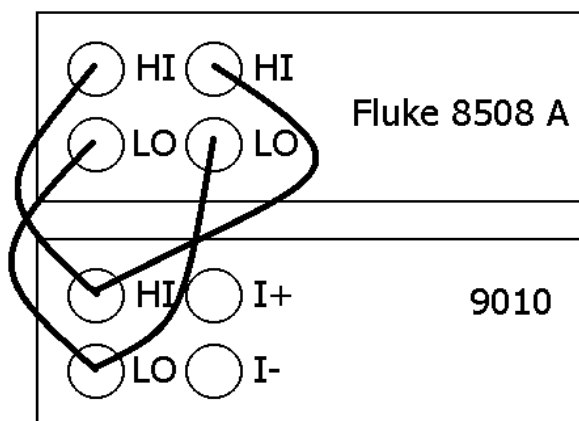
Při tomto měření byly odhalena chyba komunikačního protokolu kalibrátoru 9010, která zapříčiňovala přerušení komunikace s přístrojem, a tedy zastavení procedury. Tato chyba byla následně odstraněna zaměstnanci firmy. V průběhu měření bylo zkalibrováno několik bodů pro zjištění funkčnosti, což se projevilo ve výsledném protokolu u vybraných hodnot symbolem ok – bod prošel.

## 8.5 Měření č.2

Druhé měření proběhlo dne 29.4.2019. Podmínky okolí byly – teplota ( $22,2 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a relativní vlhkost ( $31 \pm 15 \text{ } \%$ ). Naměřené hodnoty jsou obsaženy v příloze 2. Byly změřeny pouze odporové funkce. Ve funkci RDC-2W se na nejnižších hodnotách vyskytuje odchylka pohybující se okolo  $10 \text{ m}\Omega$ . Tato odchylka je způsobena vlivem parazitního odporu vodičů. Pro odstranění této odchylky je vytvořen nový převodník *CON\_2W\_to\_4W*. Jeho podmínkou je převod:

Z 2W na 4W Převodník: *Void*

Převodník je přidán do procedury a dané funkce pro měření hodnot do  $100 \text{ k}\Omega$ . Zároveň má využití kromě funkce RDC-2W také ve funkci LVR\_FIX\_2W, ze stejného důvodu – odstranění parazitního odporu vodičů. Tímto je změněný princip měření (viz obrázek 29).



Obrázek 29: Nový princip měření odporu pro funkci RDC-2W

V tomto měření byly měřeny čtyřvodičově i velké hodnoty odporů, tj. nad  $1 \text{ M}\Omega$ . Tyto hodnoty už bude možné měřit pouze dvouvodičově. Je to primárně z důvodu šumu a vyšší náchylnosti na rušení. Tyto hodnoty jsou tedy odebrány z čtyřvodičového měření, jednak pro simulovaný režim, ale i pro fixní . Nicméně i u dvouvodičového měření u hodnoty  $1 \text{ G}\Omega$  je maximální povolená chyba nastavená hodně přesně, proto pro dosažení úspěšného výsledku by bylo vhodné nastavit delší časovou konstantu měření pro ustálení měřené hodnoty.

## 8.6 Měření č.3

Měření proběhlo dne 10.5.2019 za podmínek okolí – teplota ( $23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a relativní vlhkost ( $41,4 \pm 15 \text{ } \%$ ). Výstupní protokol třetího měření se nachází v příloze 3. Měření se týkalo

pouze odporových funkcí. U funkce RDC-2W se u nízkých hodnot odporů projevilo přidání převodníku – změna principu měření. Tab. 8 zobrazuje porovnání odchylek pro obě měření. Z tabulky je patrné, že tato metoda zafungovala úspěšně do měřené hodnoty 100  $\Omega$ . Nicméně i dále se sledovaná odchylka pohybovala na nízké úrovni. Rozhodujícím aspektem pro úspěšné zhodnocení bodu je také hodnota čerpání specifikace, která nesmí překročit povolenou hranici 100%, respektive -100%. Tuto hodnotu pouze překračuje bod 1 G $\Omega$  u kterého je odchylka 85 M $\Omega$ . Pro dosažení lepšího výsledku by bylo potřeba delšího měření, jak již bylo zmíněno. Závislost specifikace na měřeném odporu pro funkci RDC-2W je obsažena v příloze č. 5.

**Tab. 8: Porovnání odchylek u funkce RDC-2W**

Měření č.2		Měření č. 3	
R <sub>E</sub> [ $\Omega$ ]	$\Delta$ [ $\Omega$ ]	R <sub>E</sub> [ $\Omega$ ]	$\Delta$ [ $\Omega$ ]
0,0	-11,455	0,0	0,323
5,0	-10,049	5,0	1,630
10,0	-8,420	10,0	2,000
21,5	-12,420	21,5	3,540
33,0	-14,970	33,0	5,550
66,5	-13,550	66,5	1,510
100,0	-16,700	100,0	1,500
215,0	-4,400	215,0	16,700
330,0	-0,200	330,0	16,400
665,0	21,100	665,0	-21,800
1000,0	9,000	1000,0	-27,000
2100,0	112,000	2100,0	93,000
3300,0	192,000	3300,0	90,000
6600,0	219,000	6600,0	119,000
10000,0	190,000	10000,0	430,000
21500,0	380,000	21500,0	410,000
33000,0	730,000	33000,0	820,000
66500,0	150,000	66500,0	940,000
100000,0	500,000	100000,0	1500,000

U funkce RDC-4W nastal problém u bodu 5  $\Omega$ . Odchylka zde dosáhla 22,77 m $\Omega$ , přičemž povolená odchylka je 2,5 m $\Omega$ . Tato odchylka může být způsobena nestabilitou měření, jelikož v předchozím měření byla tato hodnota správně. Nicméně u této metody se projevuje termoelektrické napětí. U měření malých odporů, které jsou měřeny na malém napětí, se vliv termoelektrického napětí projevuje v desítkách mikrovoltů. Pro odstranění této chyby je vhodné využití funkce měření pomocí True Ohms. V této metodě se vyhodnocuje poměr napětí, přičemž je nutné provést dvojí měření bodu s opačnou polaritou proudu. Grafickou závislost specifikace na hodnotě odporu, lze vidět v příloze č. 6.

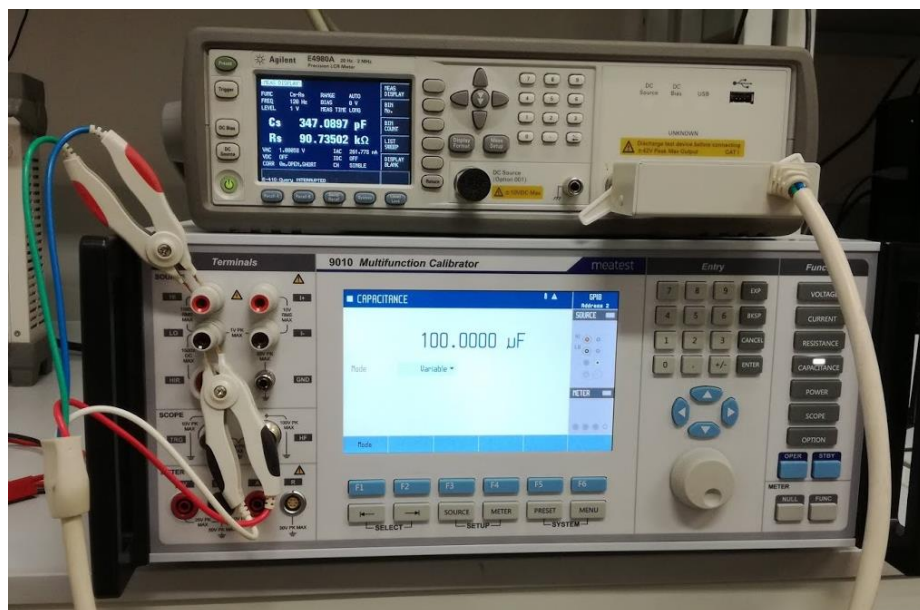
U měření fixních odporů nastal problém pouze u hodnoty 0,1 m $\Omega$ , kdy tato hodnota nebyla zkalibrována. Etalon zde vykázal hodnotu 0,5 m $\Omega$ . Tuto hodnotu by tedy

bylo potřeba znovu zkalibrovat. U zbylých hodnot se také projevují vnější parazitní vlivy, jakými jsou právě vliv přívodních vodičů, či vzniklé termoelektrické napětí. Závislosti čerpání specifikace na odporu pro fixní funkce ukazuje příloha č. 7 a 8.

## 8.7 Měření č.4

Jednalo se o měření pouze kapacity, které proběhlo dne 15.5.2019. Podmínky okolí byly zaznamenány – teplota ( $22,8 \pm 1^\circ\text{C}$ ), relativní vlhkost ( $38 \pm 15 \%$ ). Jako etalonové měřidlo byl použitý RLC most *Agilent E4980A*.

RLC most nabízí několik funkcí pro měření kapacity. Nejčastěji se rozlišuje paralelní a sériové zapojení. Z čehož vyplývají funkce -  $C_p$ - $D$  a  $C_s$ - $D$ . Parametr  $D$  značí činitel ztrát, kdy tento parametr slouží k hodnocení jakosti kapacity. Běžně se tato hodnota pohybuje v okolí cca 0,1 a méně. V technické dokumentaci kalibrátoru 9010 se nachází specifikace, že parametr  $D$  nepřesahuje hodnotu 0,1. Společně s měřením kapacit byla provedena manuální kontrola na parametr  $D$ , zda splňuje tuto podmínku. Závěrem bylo potvrzení specifikace – parametr  $D$  skutečně nepřesahuje hodnotu 0,1. V praxi se zapojení  $C_p$ - $D$  využívá pro měření nízkých hodnot kapacity, jelikož z důvodu vysoké impedance, zde má největší vliv parazitní paralelní odpor. Naproti tomu u velkých hodnot kapacit se projevuje nejvíce sériový parazitní odpor. Nicméně u kalibrátoru 9010 není kladen důraz na sekundární parametry (tj.  $R_s$ ,  $R_p$ ,  $D$  atd.), ale pouze na kapacitu. Tzn., že kalibrátor ukazuje pouze hodnotu kapacity. Předpokládá se, že přístroje, které se budou kalibrovat kalibrátorem 9010 nerozlišují také parametry, ale uvádí rovněž pouze hodnoty kapacity. Tyto zařízení zároveň měří jinou metodou než RLC mosty, a to integrační metodou. Ta znamená, že je do obvodu poslán definovaný impuls s ostrou náběžnou hranou a vyhodnocuje se zde čas za jak dlouho se vybije energie. [19]



Obrázek 30: Zapojení pracoviště pro měření kapacitní dekády

Před měřením bylo nutné proceduru upravit odstraněním bodů kapacity menších než 1 nF z důvodu, že kalibrátor 9010 nebude nabízet měření těchto kapacit. Další změnou byla změna etalonového měřidla pro měření hodnot kapacity nad 1 mF. V tomto pásmu již RLC most není schopný měřit. Proto byla vytvořena karta přístroje *Fluke Capacitor* pro měření velkých kapacit. Tyto hodnoty byly měřeny manuálně, jelikož by bylo nutné vytvořit kompletní novou kartu tohoto přístroje. Konkrétně se jednalo o přístroj *Fluke 8845A*. Samotné měření dopadlo bezproblémově. Všechny body měření pro funkci C-2W a C\_FIX\_2W vyhověly. Největší procento čerpání ze specifikace dosáhla hodnota 33  $\mu$ F, u které tato hodnota byla -62 %. Pro funkci C-2W byla průměrná hodnota čerpání ze specifikace -13 %. Pro funkci fixní kapacity C\_FIX\_2W byla necelých 8 %. Grafy čerpání specifikace pro kapacitní funkce zobrazují přílohy č. 9 a 10.

## 9. HODNOCENÍ PROVEDENÝCH MĚŘENÍ

Celkem proběhly čtyři kontrolní měření. První měření sloužilo jako testovací, kdy byla ověřována funkčnost vytvořené procedury. Měření vedlo k odhalení chyby v komunikačním protokolu kalibrátoru 9010. Zároveň poukázalo na chyby v proceduře. Měření dvě proběhlo po částečné justáži kalibrátoru. Projevil se zde vliv parazitního odporu vodičů – chyba se pohybovala okolo  $10\text{m}\Omega$ . Následkem bylo vložení převodníku CON\_2W\_to\_4W. Výsledkem této změny bylo snížení odchylky (viz tab. 8).

Měření č. 3 je považováno za finální kontrolní měření pro odporové funkce. Protokol měření se nachází v příloze 3. Pro funkce RDC-2W je průměrná hodnota čerpání ze specifikace 41,9 %. Tuto hodnotu razantně zvyšuje bod  $1\text{G}\Omega$ . V tomto bodě je čerpání ze specifikace 999 %. Odchylka je zde  $85\text{M}\Omega$ , přičemž povolená odchylka je pouze  $7\text{M}\Omega$ . Tato odchylka je zde nastavena velmi přísně, ale jedná se o předběžnou povolenou odchylku a dá se očekávat její snížení. Zbylé hodnoty se zde vešly do povoleného čerpání specifikace. Příloha 5 zobrazuje graf závislosti procenta čerpání specifikace na hodnotě odporu. V grafu je za pomoci černých os vyznačeno povolené pásmo pro čerpání specifikace, a to konkrétně v bodech -100 % a 100 %. Vyznačení tohoto pásma je využito zároveň ve zbylých grafech.

Funkce RDC-4W dosahuje průměrné hodnoty čerpání ze specifikace 13,6 %. Z celkového měření funkce nebyly úspěšné tři body. Nejvýraznější chyby dosáhl bod  $5\Omega$ . Hodnota %spe je 911 %. Projevil se zde vliv termoelektrického napětí, přičemž tento parazitní vliv by se dal redukovat pomocí funkce měření True Ohms popsané na stránce č. 50. U zbylých dvou hodnot –  $215\Omega$  a  $2,15\text{k}\Omega$  se pravděpodobně projevil stejný parazitní vliv. Příloha 6 obsahuje graf závislosti čerpání specifikace na hodnotě odporu.

Měření funkce LVR\_FIX\_2W dopadlo úspěšně. Všechny body se vešly do povolené specifikace. Průměr hodnoty %spe dosáhl -2,09 %. U bodu  $1\text{k}\Omega$  je největší procento čerpání specifikace – 95 %. Odchylka zde činila  $0,014\Omega$ , přičemž povolená byla  $0,015\Omega$ . Graf závislosti čerpání specifikace na hodnotě odporu – příloha 7.

U poslední odporové funkce LVR\_FIX\_4W neprošel bod  $0,1\text{m}\Omega$ , kdy na přístroji UUT byl naměřen bod  $0,5\text{m}\Omega$ . Tato odchylka poukazuje na špatnou kalibraci tohoto bodu. Bylo by vhodné provést recalibraci. Zbylé hodnoty prošly kontrolou. Průměrná hodnota %spe dosáhla 99,125 %. Jedná se o hodnotu na hranici. Pro dosažení kvalitnějšího výsledku, lze uvažovat o recalibraci. Graf se nachází v příloze 8.

Finální měření kapacitní funkce se nachází v příloze 4. V měření kapacit nenastal žádný problém. Před měření musely být provedeny úpravy procedury popsané v kapitole 8.7. U tohoto měření lze konstatovat, že proběhlo úspěšně. Grafy v příloze 9 a 10 ukazují závislost čerpání specifikace na měřené kapacitě. V grafech je možno vidět rozložení všech měřených bodů, které se nacházejí v povoleném pásmu. V případě funkce C-2W je průměr %spe -12,85 %. U fixních kapacit C\_FIX\_2W dosáhl průměr %spe 7,92 %. Celkově lze konstatovat, že závěrečná měření dopadla úspěšně pro všech šest funkcí.

## 10. ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvoření kontrolní kalibrace pro multifunkční kalibrátor 9010. Tohoto cíle bylo dosaženo za pomoci vytvořené procedury v programu Caliber.

Prvním bodem zadání bylo seznámení se s programem Caliber. Toto seznámení proběhlo úspěšně, přičemž v kapitole 4 se nachází základní popis programu a jeho funkcí.

Druhým bodem byl průzkum předpokládaných specifikací odporové a kapacitní dekády kalibrátoru 9010. V kapitole 3.1 se nacházejí tyto specifikace. Tento seznam by měl být zkrácen o specifikace pro fixní mód, z důvodu, že kalibrátor 9010 nenabízí tuto možnost (možnost fixního měření bude pouze pro kalibrátor 9020). Měření tohoto fixního módu bylo zařazeno, jelikož testovaný přístroj je ve fázi vývoje a daný přístroj, na kterém byla bakalářská práce měřena, tuto možnost nabízel. Součástí úkolu byl popis komunikačních příkazů využívaných pro komunikaci s těmito dekádami. Výčet základních příkazů pro odporovou a kapacitní dekádu se nachází v kapitole 6.

Následujícím bodem bylo definování parametrů dekád, přičemž v kapitole 1 je popsán jejich základní výčet. Navazující kapitola 2 popisuje metody pro jejich určení.

Ve čtvrtém bodě je zahrnutá tvorba procedury. Tato procedura byla úspěšně vytvořena v programu Caliber. Bylo zapotřebí několika měření pro odladění jejích chyb. Část parazitních vlivů byla odstraněna vložením virtuálních převodníků, které umožnily zpřesnění měření. V průběhu testování se také objevilo i několik problémů se samotným kalibrátorem. Ty byly zapříčiněny tím, že přístroj je ve vývoji a samotný měřený přístroj slouží jako testovací model, tudíž ještě není finálně odladěný. Přínosné pro proceduru bylo využití funkce pro měření odporu pomocí True Ohms, čímž by se měření zpřesnilo a odstranil by se vliv termoelektrického napětí. Nicméně finální verze kontroly kalibrace byla úspěšná.

Součástí kalibrace bylo zvolení vhodných bodů kalibrace. Jedná se o důležitý aspekt celé procedury. Při volbě bodů by bylo vhodnější nevybírat přímo krajní body intervalu, jak bylo provedeno, ale vybrat nejlépe hodnotu cca 10 % a 90 % od spodní hranice. Tímto by se předešlo problémům při měření, kdy některé krajní body mohly spadnout do jiného intervalu a vztahovala by se na ně jiná povolená chyba. Tímto lze konstatovat, že volba výběrů nebyla zvolena tím nejlepším způsobem, avšak tato chyba se nijak výrazně do měření nepromítla.

Samotné měření za pomoci procedury proběhlo úspěšně. V přílohách č. 5 – 8 jsou vidět závislosti specifikací na hodnotách odporu pro všechny čtyři odporové funkce. Z grafů je patrné, které body neprošly. V grafech se nachází ohraničení pásma (černé osy). Body nacházející se v tomto pásmu prošly kontrolou kalibrace. Nicméně těchto bodů je pouze pět. Důvody, proč tyto body neprošly, jsou popsány v kapitole 8. U kontroly kalibrace pro kapacitní funkce C-2W a C\_FIX\_2W nenastal žádný problém. Grafy v přílohách č. 9 a 10 zobrazují závislost čerpání specifikace na hodnotě kapacity. Všechny měřené body úspěšně prošly. Shrnutí celého měření obsahuje kapitola 9.

# LITERATURA

- [1] Slovník pojmů metrologie. *DEKRA CZ a.s.* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://dekra.cz/testovani/metrologie/slovník-pojmu/>
- [2] GESCHEIDTOVÁ, Eva, Miloslav STEINBAUER a Jiří REZ. *Měření v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické, 2002. ISBN 80-214-1990-3.
- [3] *Manuál 9010* [online]. Brno. Dostupné také z: <https://www.meatest.com/cs>
- [4] MEATEST. *Manuál multifunkčního kalibrátoru M-142* [online]. Verze 9. Brno. Dostupné také z: <https://www.meatest.com/cs>
- [5] MEATEST. *CALIBER Kalibrace měřidel: Uživatelská příručka* [online]. Verze 26. Brno [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/files/download/man/caln.pdf>
- [6] MEATEST. *Caliber Automatizované kalibrace: datasheet* [online]. Brno [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/files/download/dat/calp.pdf>
- [7] VLACH, Jaroslav a Viktorie VLACHOVÁ. *Počítačová rozhraní: Přenos dat a řídicí systémy*. 2., rozšř. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 175 s. : il. ISBN 80-7300-010-5.
- [8] Pinout RS232. In: *Brainboxes - Connect, Configure, Control Ethernet Serial IO - Brainboxes - Industrial Ethernet IO and Serial* [online]. Liverpool [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.brainboxes.com/faq/items/what-are-the-pin-outs-of-the-9-pin-d-connector-for-my-rs232-or-r>
- [9] Vývoj.HW.cz: HW server představuje – Sériová linka RS-232. <https://vyvoj.hw.cz> [online]. Praha 4, 12. prosinec 2005 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: [https://vyvoj.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html#datovy\\_prenos](https://vyvoj.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html#datovy_prenos)
- [10] *Serial Communication* [online]. 2016 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>
- [11] GOOK, Michael. *Hardwarová rozhraní: průvodce programátora*. Brno: Computer Press, 2006. Hardware (Computer Press). ISBN 80-251-1019-2.
- [12] Zapojení síťového konektoru RJ-45. In: *PC servis Česká republika: Znalostní databáze* [online]. Větrkovice, 2015, 14. leden 2018 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.pc-servis-cr.cz/znalostni-databaze/sit/7-zapojeni-sitoveho-konektoru-rj-45>
- [13] USB konektory. In: *Alza.cz* [online]. Praha 7: Alza, c1994-2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://cdn.alza.cz/Foto/ImgGalery/Image/usb-konektory.jpg>
- [14] Specifikace USB. In: *Vyvoj.hw.cz: Profesionální elektronika* [online]. Praha 4, 2008 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vysla-specifikace-usb-30.html>
- [15] Průmyslové sběrnice. Navrhování přístrojů s integrovanými obvody [online]. 4. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, s. 21 [cit. 2019-04-29]. ISBN isbn:80-214-0051-x. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap\\_4.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap_4.pdf)

- [16] *National Instruments VISA* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z:  
<http://www.ni.com/visa/>
- [17] Diagnostický software Soubor: Přednáška 15. *Diagnostika elektrických pohonů* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z:  
<https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=1097>
- [18] MEATEST. *Datasheet: Preliminary specification 9010/9020* [online]. Brno.  
Dostupné také z: <https://www.meatest.com/cs>
- [19] Keysight Technologies. *User's Guide Keysight E4980A* [online]. Verze 12. Santa Rosa, Kalifornie, 2014. Dostupné také z:  
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/E4980-90210.pdf>



# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Protokol měření č.1

Příloha 2 – Protokol měření č.2

Příloha 3 – Protokol měření č.3

Příloha 4 – Protokol měření č.4

Příloha 5 – Graf závislosti specifikace na hodnotě odporu pro funkci RDC-2W

Příloha 6 – Graf závislosti specifikace na hodnotě odporu pro funkci RDC-4W

Příloha 7 – Graf závislosti specifikace na hodnotě odporu pro funkci LVR\_FIX\_2W

Příloha 8 – Graf závislosti specifikace na hodnotě odporu pro funkci LVR\_FIX\_4W

Příloha 9 – Graf závislosti specifikace na hodnotě kapacity pro funkci C-2W

Příloha 10 – Graf závislosti specifikace na hodnotě kapacity pro funkci C\_FIX\_2W

Příloha 11 – Vytvořená procedura v programu Caliber

**Předjustážní protokol č.** 1

---

**Výrobce:** Meatest

Tento kalibrační certifikát dokumentuje návaznost na státní etalony realizující jednotky v souladu s Mezinárodním systémem jednotek (SI)

**Typ:** 9010

**Výrobní číslo:** 1

**Žadatel:** -

Uživatel měřidla odpovídá za recalibraci měřidla v přiměřeném recalibračním intervalu.

**Počet stran:** 5

**Datum kalibrace:** 18.4.2019

---

<b>Razítko</b>	<b>Datum</b>	<b>Vedoucí laboratoře</b>	<b>Kalibroval</b>
	18.4.2019	Ing. Karel Volný	Martin Mičulka

---

Tento kalibrační certifikát se může rozmnožovat pouze celý a nezměněný. Rozmnožovat jeho části je možné jen se souhlasem kalibrační laboratoře. Kalibrační certifikát je neplatný bez podpisu a bez razítka.

**Postup kalibrace:** Kalibrace programem pro automatizovanou kalibraci Caliber řídicím souborem: BP-TEST

Direct measurement multimeter Fluke 8508A SN: 103359191, Agilent E4980A SN:MY46203974

**Podmínky měření:** Autorization No. 6000-OR-029-04

Issued by Czech meterology institute in Brno

**Podmínky okolí:** Teplota  $(22,5 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost  $(29,8 \pm 15) \%$

## Výsledky měření:

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
RDC-2W	10 Ohm	0.724292 Ohm	0.000000 Ohm	-724.292 mOh	-999	1.000 mOhm	0.069 mOhm	*
RDC-2W	10 Ohm	5.25496 Ohm	5.000000 Ohm	-254.96 mOhm	-999	2.50 mOhm	0.11 mOhm	*
RDC-2W	10 Ohm	9.78832 Ohm	10.000000 Ohm	211.68 mOhm	999	4.00 mOhm	0.14 mOhm	*
RDC-2W	33 Ohm	21.15644 Ohm	21.500000 Ohm	343.56 mOhm	999	6.37 mOhm	0.39 mOhm	*
RDC-2W	33 Ohm	32.64079 Ohm	33.000000 Ohm	359.21 mOhm	999	9.25 mOhm	0.47 mOhm	*
RDC-2W	100 Ohm	66.16656 Ohm	66.500000 Ohm	333.44 mOhm	999	10.98 mOhm	0.75 mOhm	*
RDC-2W	100 Ohm	99.6596 Ohm	100.000000 Ohm	340.4 mOhm	999	16.0 mOhm	1.1 mOhm	*
RDC-2W	330 Ohm	214.6380 Ohm	215.000000 Ohm	362.0 mOhm	999	24.5 mOhm	4.5 mOhm	*
RDC-2W	330 Ohm	329.6206 Ohm	330.000000 Ohm	379.4 mOhm	999	36.0 mOhm	4.6 mOhm	*
RDC-2W	1 kOhm	0.6646702 kOhm	0.6650000 kOhm	0.3298 Ohm	474	0.0695 Ohm	0.0079 Ohm	*
RDC-2W	1 kOhm	0.999676 kOhm	1.000000 kOhm	0.324 Ohm	315	0.103 Ohm	0.010 Ohm	*
RDC-2W	3.3 kOhm	2.099377 kOhm	2.100000 kOhm	0.623 Ohm	260	0.240 Ohm	0.038 Ohm	*
RDC-2W	3.3 kOhm	3.299381 kOhm	3.300000 kOhm	0.619 Ohm	172	0.360 Ohm	0.048 Ohm	*
RDC-2W	10 kOhm	6.599588 kOhm	6.600000 kOhm	0.412 Ohm	60	0.690 Ohm	0.075 Ohm	ok
RDC-2W	10 kOhm	9.99973 kOhm	10.000000 kOhm	0.27 Ohm	26	1.03 Ohm	0.10 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	21.49963 kOhm	21.500000 kOhm	0.37 Ohm	15	2.45 Ohm	0.38 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	32.99976 kOhm	33.000000 kOhm	0.25 Ohm	7	3.60 Ohm	0.47 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	66.49856 kOhm	66.500000 kOhm	1.44 Ohm	21	6.95 Ohm	0.75 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	99.9989 kOhm	100.000000 kOhm	1.1 Ohm	11	10.3 Ohm	1.0 Ohm	~ok
RDC-2W	330 kOhm	214.9963 kOhm	215.000000 kOhm	3.7 Ohm	15	24.5 Ohm	4.8 Ohm	ok
RDC-2W	330 kOhm	329.9987 kOhm	330.000000 kOhm	1.3 Ohm	4	36.0 Ohm	5.8 Ohm	ok
RDC-2W	1 MOhm	0.6600005 MOhm	0.6600000 MOhm	-0.0005 kOhm	0	0.1020 kOhm	0.0095 kOh	ok
RDC-2W	1 MOhm	0.999998 MOhm	1.000000 MOhm	0.002 kOhm	2	0.153 kOhm	0.012 kOhm	ok
RDC-2W	3.3 MOhm	2.15024 MOhm	2.150000 MOhm	-0.24 kOhm	-67	0.35 kOhm	0.39 kOhm	?
RDC-2W	3.3 MOhm	3.30346 MOhm	3.300000 MOhm	-3.46 kOhm	-659	0.53 kOhm	0.28 kOhm	*
RDC-2W	10 MOhm	6.65740 MOhm	6.650000 MOhm	-7.40 kOhm	-544	1.36 kOhm	0.25 kOhm	*
RDC-2W	10 MOhm	10.00546 MOhm	10.000000 MOhm	-5.46 kOhm	-269	2.03 kOhm	0.51 kOhm	*
RDC-2W	33 MOhm	21.547 MOhm	21.500000 MOhm	-47 kOhm	-214	22 kOhm	27 kOhm	?
RDC-2W	33 MOhm	33.088 MOhm	33.000000 MOhm	-88 kOhm	-265	33 kOhm	57 kOhm	?
RDC-2W	100 MOhm	66.502 MOhm	66.500000 MOhm	-2 kOhm	-2	133 kOhm	31 kOhm	ok
RDC-2W	100 MOhm	100.139 MOhm	100.000000 MOhm	-139 kOhm	-69	200 kOhm	37 kOhm	ok
RDC-2W	330 MOhm	217.0 MOhm	215.0 MOhm	-1964 kOhm	-304	645 kOhm	1779 kOhm	?
RDC-2W	330 MOhm	334.1 MOhm	330.0 MOhm	-4111 kOhm	-415	990 kOhm	1574 kOhm	*
RDC-2W	1 GOhm	0.648 GOhm	0.660 GOhm	12 MOhm	261	5 MOhm	19 MOhm	?
RDC-2W	1 GOhm	0.938 GOhm	1.000 GOhm	62 MOhm	888	7 MOhm	59 MOhm	?
RDC-4W	10 Ohm	9999999999999999 Ohm	0 Ohm	-99999999999	-999	1 mOhm	9999999999	*
RDC-4W	10 Ohm	10.20368 Ohm	5.000000 Ohm	-5203.68 mOh	-999	2.50 mOhm	0.14 mOhm	*
RDC-4W	10 Ohm	10.20383 Ohm	10.000000 Ohm	-203.83 mOh	-999	4.00 mOhm	0.14 mOhm	*
RDC-4W	33 Ohm	10.20457 Ohm	21.500000 Ohm	11295.43 mOh	999	6.37 mOhm	0.80 mOhm	*
RDC-4W	33 Ohm	10.20633 Ohm	33.000000 Ohm	22793.67 mOh	999	9.25 mOhm	0.28 mOhm	*
RDC-4W	100 Ohm	33.43861 Ohm	66.500000 Ohm	33061.39 mOh	999	10.98 mOhm	0.47 mOhm	*
RDC-4W	100 Ohm	33.43909 Ohm	100.000000 Ohm	66560.91 mOh	999	16.00 mOhm	0.47 mOhm	*
RDC-4W	330 Ohm	101.0825 Ohm	215.000000 Ohm	113917.5 mOh	999	24.5 mOhm	2.9 mOhm	*
RDC-4W	330 Ohm	101.1080 Ohm	330.000000 Ohm	228892.0 mOh	999	36.0 mOhm	3.0 mOhm	*
RDC-4W	1 kOhm	0.3333910 kOhm	0.6650000 kOhm	331.6090 Ohm	999	0.0695 Ohm	0.0047 Ohm	*
RDC-4W	1 kOhm	0.3333795 kOhm	1.0000000 kOhm	666.6205 Ohm	999	0.1030 Ohm	0.0086 Ohm	*
RDC-4W	3.3 kOhm	1.000177 kOhm	2.1500000 kOhm	1149.824 Ohm	999	0.245 Ohm	0.028 Ohm	*
RDC-4W	3.3 kOhm	3.299565 kOhm	3.3000000 kOhm	0.435 Ohm	121	0.360 Ohm	0.047 Ohm	*
RDC-4W	10 kOhm	3.299583 kOhm	6.6500000 kOhm	3350.417 Ohm	999	0.695 Ohm	0.047 Ohm	*
RDC-4W	10 kOhm	9.99916 kOhm	10.000000 kOhm	0.84 Ohm	82	1.03 Ohm	0.11 Ohm	ok
RDC-4W	33 kOhm	9.99895 kOhm	21.500000 kOhm	11501.05 Ohm	999	2.45 Ohm	0.26 Ohm	*
RDC-4W	33 kOhm	9.99915 kOhm	33.000000 kOhm	23000.85 Ohm	999	3.60 Ohm	0.26 Ohm	*
RDC-4W	100 kOhm	33.34391 kOhm	66.500000 kOhm	33156.09 Ohm	999	6.95 Ohm	0.46 Ohm	*
RDC-4W	100 kOhm	33.34393 kOhm	100.000000 kOhm	66656.07 Ohm	999	10.30 Ohm	0.46 Ohm	*
RDC-4W	330 kOhm	100.0019 kOhm	215.000000 kOhm	114998.1 Ohm	999	24.5 Ohm	3.3 Ohm	*
RDC-4W	330 kOhm	100.0017 kOhm	330.000000 kOhm	229998.3 Ohm	999	36.0 Ohm	3.4 Ohm	*
RDC-4W	1 MOhm	0.3330975 MOhm	0.6650000 MOhm	331.9025 kOh	999	0.1028 kOhm	0.0058 kOh	*
RDC-4W	1 MOhm	0.998802 MOhm	1.0000000 MOhm	1.198 kOhm	783	0.153 kOhm	0.013 kOhm	*

## Výsledky měření:

RDC-4W	3.3 MOhm	0.99894 MOhm	2.15000 MOhm	1151.06 kOhm	999	0.35 kOhm	0.14 kOhm	*
RDC-4W	3.3 MOhm	-2.45 MOhm	3.30 MOhm	5746 kOhm	999	1 kOhm	101 kOhm	*
RDC-4W	10 MOhm	-2.761 MOhm	6.650 MOhm	9411 kOhm	999	1 kOhm	98 kOhm	*
RDC-4W	10 MOhm	-2.41 MOhm	10.00 MOhm	12413 kOhm	999	2 kOhm	127 kOhm	*
RDC-4W	33 MOhm	0.777 MOhm	21.500 MOhm	20723 kOhm	999	22 kOhm	99 kOhm	*
RDC-4W	33 MOhm	-11.99 MOhm	33.00 MOhm	44992 kOhm	999	33 kOhm	474 kOhm	*
RDC-4W	100 MOhm	-12.35 MOhm	66.50 MOhm	78853 kOhm	999	133 kOhm	370 kOhm	*
RDC-4W	100 MOhm	-8.86 MOhm	100.00 MOhm	108862 kOhm	999	200 kOhm	462 kOhm	*
RDC-4W	330 MOhm	21.8 MOhm	215.0 MOhm	193204 kOhm	999	645 kOhm	1182 kOhm	*
RDC-4W	330 MOhm	13.9 MOhm	330.0 MOhm	316134 kOhm	999	990 kOhm	1230 kOhm	*
RDC-4W	1 GOhm	0.0417 GOhm	0.6650 GOhm	623.3 MOhm	999	4.7 MOhm	1.8 MOhm	*
RDC-4W	1 GOhm	0.1021 GOhm	1.0000 GOhm	897.9 MOhm	999	7.0 MOhm	8.2 MOhm	*
LVR_FIX_2W	100 mOhm	870.642 mOhm	1106.920 mOhm	236278 uOhm	213	110692 uOhm	27 uOhm	*
LVR_FIX_2W	100 mOhm	870.923 mOhm	1106.920 mOhm	235997 uOhm	213	110692 uOhm	22 uOhm	*
LVR_FIX_2W	1 Ohm	1.777478 Ohm	2.009316 Ohm	231.838 mOhm	577	40.186 mOhm	0.040 mOhm	*
LVR_FIX_2W	10 Ohm	10.88190 Ohm	11.11326 Ohm	231.36 mOhm	999	11.11 mOhm	0.18 mOhm	*
LVR_FIX_2W	100 Ohm	101.7879 Ohm	102.0170 Ohm	229.1 mOhm	999	15.3 mOhm	1.1 mOhm	*
LVR_FIX_2W	1 kOhm	1.000783 kOhm	1.001033 kOhm	0.250 Ohm	999	0.015 Ohm	0.010 Ohm	*
LVR_FIX_2W	10 kOhm	9.99960 kOhm	10.00001 kOhm	0.41 Ohm	271	0.15 Ohm	0.10 Ohm	*
LVR_FIX_2W	100 kOhm	100.0038 kOhm	100.0045 kOhm	0.7 Ohm	48	1.5 Ohm	1.0 Ohm	?
LVR_FIX_2W	1 MOhm	0.998813 MOhm	0.998787 MOhm	-0.026 kOhm	-87	0.030 kOhm	0.012 kOhm	?
LVR_FIX_2W	10 MOhm	9.97501 MOhm	9.96972 MOhm	-5.29 kOhm	-106	4.98 kOhm	0.33 kOhm	?
LVR_FIX_2W	100 MOhm	99.845 MOhm	99.857 MOhm	12 kOhm	122	10 kOhm	24 kOhm	?
LVR_FIX_2W	1 GOhm	0.971 GOhm	1.000 GOhm	29 MOhm	999	3 MOhm	22 MOhm	*
LVR_FIX_4W	100 mOhm	105.002 mOhm	106.920 mOhm	1918 uOhm	999	0 uOhm	11 uOhm	*
LVR_FIX_4W	1 Ohm	1.007290 Ohm	1.009316 Ohm	2.026 mOhm	201	1.009 mOhm	0.023 mOhm	*
LVR_FIX_4W	10 Ohm	10.10939 Ohm	10.11326 Ohm	3.87 mOhm	383	1.01 mOhm	0.13 mOhm	*
LVR_FIX_4W	100 Ohm	101.0126 Ohm	101.0170 Ohm	4.4 mOhm	217	2.0 mOhm	1.1 mOhm	*
LVR_FIX_4W	1 kOhm	1.000003 kOhm	1.000033 kOhm	0.030 Ohm	199	0.015 Ohm	0.010 Ohm	*
LVR_FIX_4W	10 kOhm	9.99884 kOhm	9.99901 kOhm	0.17 Ohm	116	0.15 Ohm	0.10 Ohm	?
LVR_FIX_4W	100 kOhm	100.0029 kOhm	100.0035 kOhm	0.6 Ohm	40	1.5 Ohm	1.0 Ohm	?
LVR_FIX_4W	1 MOhm	0.1000025 MOhm	0.1000035 MOhm	0.0011 kOhm	999	0.0000 kOhm	0.0033 kOhm	?
LVR_FIX_4W	10 MOhm	0.099999 MOhm	0.100000 MOhm	0.01 kOhm	999	0.00 kOhm	0.13 kOhm	?
LVR_FIX_4W	100 MOhm	0.100 MOhm	0.100 MOhm	-0 kOhm	-999	0 kOhm	12 kOhm	?
LVR_FIX_4W	1 GOhm	0.0001 GOhm	0.0001 GOhm	-0.0 MOhm	-999	0.0 MOhm	1.2 MOhm	?
C-2W	330 pF	95.950 pF	220.000 pF	124050 fF	770	16100 fF	56 fF	*
C-2W	330 pF	116.355 pF	275.000 pF	158645 fF	969	16375 fF	67 fF	*
C-2W	330 pF	130.848 pF	330.000 pF	199152 fF	999	16650 fF	76 fF	*
C-2W	1 nF	0.36884 nF	0.66500 nF	296.16 pF	999	18.33 pF	0.21 pF	*
C-2W	1 nF	0.84993 nF	1.00000 nF	150.07 pF	750	20.00 pF	0.49 pF	*
C-2W	3.3 nF	1.8426 nF	2.1500 nF	307.4 pF	999	25.8 pF	1.1 pF	*
C-2W	3.3 nF	2.9160 nF	3.3000 nF	384.0 pF	999	31.5 pF	1.7 pF	*
C-2W	10 nF	6.4997 nF	6.6500 nF	150.3 pF	452	33.3 pF	3.8 pF	*
C-2W	10 nF	10.0480 nF	10.0000 nF	-48.0 pF	-96	50.0 pF	5.8 pF	?
C-2W	33 nF	21.855 nF	21.500 nF	-355 pF	-330	108 pF	13 pF	*
C-2W	33 nF	32.736 nF	33.000 nF	264 pF	160	165 pF	19 pF	*
C-2W	100 nF	68.051 nF	66.500 nF	-1551 pF	-467	333 pF	39 pF	*
C-2W	100 nF	105.728 nF	100.000 nF	-5728 pF	-999	500 pF	61 pF	*
C-2W	330 nF	221.75 nF	215.00 nF	-6749 pF	-314	2150 pF	128 pF	*
C-2W	330 nF	329.29 nF	330.00 nF	705 pF	21	3300 pF	190 pF	ok
C-2W	1 uF	0.68557 uF	0.66500 uF	-20.57 nF	-309	6.65 nF	0.40 nF	*
C-2W	1 uF	0.99859 uF	1.00000 uF	1.41 nF	14	10.00 nF	0.58 nF	ok
C-2W	3.3 uF	2.2294 uF	2.1500 uF	-79.4 nF	-246	32.3 nF	1.3 nF	*
C-2W	3.3 uF	3.3024 uF	3.3000 uF	-2.4 nF	-5	49.5 nF	1.9 nF	ok
C-2W	10 uF	6.8847 uF	6.6500 uF	-234.7 nF	-235	99.8 nF	4.0 nF	*
C-2W	10 uF	10.7233 uF	10.0000 uF	-723.3 nF	-482	150.0 nF	6.2 nF	*
C-2W	33 uF	22.434 uF	21.500 uF	-934 nF	-217	430 nF	13 nF	*
C-2W	33 uF	33.414 uF	33.000 uF	-414 nF	-63	660 nF	19 nF	ok
C-2W	100 uF	70.671 uF	66.500 uF	-4171 nF	-251	1663 nF	41 nF	*
C-2W	100 uF	103.626 uF	100.000 uF	-3626 nF	-145	2500 nF	60 nF	*
C-2W	1 mF	0.73935 mF	0.55000 mF	-189.35 uF	-999	16.50 uF	0.44 uF	*
C-2W	1 mF	1.2998 mF	1.0000 mF	-299.8 uF	-999	30.0 uF	2.5 uF	*
C-2W	10 mF	831 mF	6 mF	-825700 uF	-999	275 uF	221513 uF	*
C-2W	10 mF	-15.388 mF	10.000 mF	25388 uF	999	500 uF	37 uF	*

## Výsledky měření:

C-2W		120 mF		-7.216 mF		65.000 mF		72216 uF		999		3250 uF		15 uF		*
C-2W		120 mF		-6.741 mF		120.000 mF		126741 uF		999		6000 uF		10 uF		*
C_FIX_2W		220 pF		87.666 pF		245.000 pF		157334 fF		999		15000 fF		51 fF		*
C_FIX_2W		330 pF		189.31 pF		348.00 pF		158694 fF		793		20000 fF		109 fF		*
C_FIX_2W		1 nF		0.78076 nF		0.94200 nF		161.24 pF		269		60.00 pF		0.45 pF		*
C_FIX_2W		3.3 nF		3.3969 nF		3.5700 nF		173.1 pF		105		165.0 pF		2.0 pF		*
C_FIX_2W		10 nF		9.8230 nF		10.0150 nF		192.0 pF		38		500.0 pF		5.7 pF		ok
C_FIX_2W		33 nF		32.711 nF		33.000 nF		289 pF		18		1650 pF		19 pF		ok
C_FIX_2W		100 nF		100.310 nF		100.800 nF		490 pF		10		5000 pF		58 pF		ok
C_FIX_2W		330 nF		322.02 nF		323.00 nF		985 pF		6		16500 pF		186 pF		ok
C_FIX_2W		1 uF		0.97038 uF		0.97300 uF		2.62 nF		5		50.00 nF		0.56 nF		ok
C_FIX_2W		3.3 uF		3.2379 uF		3.2400 uF		2.1 nF		1		165.0 nF		1.9 nF		ok
C_FIX_2W		10 uF		10.0345 uF		10.0400 uF		5.5 nF		1		500.0 nF		5.8 nF		ok
C_FIX_2W		33 uF		32.575 uF		32.400 uF		-175 nF		-11		1650 nF		19 nF		ok
C_FIX_2W		100 uF		100.466 uF		98.900 uF		-1566 nF		-3		50000 nF		58 nF		ok

Popis symbolů:

ok ... vyhovuje

? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba  $\pm$  nejistota měření

\* ... nevyhovuje

~ ... nestabilní údaj

**Nejistota měření:** Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu  $k$  s pravděpodobnosti pokrytí 95% odpovídajícímu při normálním rozložení koeficientu  $k=2$ . Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

**Závěr:** Vyhověl mimo bodů označených znakem \*, ?.

**Předjustážní protokol č. 2**

---

**Výrobce:** Meatest

Tento kalibrační certifikát dokumentuje návaznost na státní etalony realizující jednotky v souladu s Mezinárodním systémem jednotek (SI)

**Typ:** 9010

**Výrobní číslo:** 1

**Žadatel:** -

Uživatel měřidla odpovídá za recalibraci měřidla v přiměřeném recalibračním intervalu.

**Počet stran:** 4

**Datum kalibrace:** 29.4.2019

---

<b>Razítko</b>	<b>Datum</b>	<b>Vedoucí laboratoře</b>	<b>Kalibroval</b>
	29.4.2019	Ing. Karel Volný	Martin Mičulka

---

Tento kalibrační certifikát se může rozmnožovat pouze celý a nezměněný. Rozmnožovat jeho části je možné jen se souhlasem kalibrační laboratoře. Kalibrační certifikát je neplatný bez podpisu a bez razítka.

**Postup kalibrace:** Kalibrace programem pro automatizovanou kalibraci Caliber řídicím souborem: BP-TEST

Direct measurement multimeter Fluke 8508A SN: 103359191

**Podmínky měření:** Autorization No. 6000-OR-029-04

Issued by Czech meterology institute in Brno

**Podmínky okolí:** Teplota (22,2 ± 1) °C

Relativní vlhkost (31 ± 15) %



## Výsledky měření:

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
RDC-2W	10 Ohm	0.011455 Ohm	0.000000 Ohm	-11.455 mOhm	-999	1.000 mOhm	0.067 mOhm	*
RDC-2W	10 Ohm	5.010049 Ohm	5.000000 Ohm	-10.049 mOhm	-402	2.500 mOhm	0.091 mOhm	*
RDC-2W	10 Ohm	10.00842 Ohm	10.00000 Ohm	-8.42 mOhm	-211	4.00 mOhm	0.15 mOhm	*
RDC-2W	33 Ohm	21.51242 Ohm	21.50000 Ohm	-12.42 mOhm	-195	6.37 mOhm	0.41 mOhm	*
RDC-2W	33 Ohm	33.01497 Ohm	33.00000 Ohm	-14.97 mOhm	-162	9.25 mOhm	0.50 mOhm	*
RDC-2W	100 Ohm	66.51355 Ohm	66.50000 Ohm	-13.55 mOhm	-123	10.98 mOhm	0.75 mOhm	*
RDC-2W	100 Ohm	100.0167 Ohm	100.0000 Ohm	-16.7 mOhm	-104	16.0 mOhm	1.1 mOhm	?
RDC-2W	330 Ohm	215.0045 Ohm	215.0000 Ohm	-4.4 mOhm	-18	24.5 mOhm	4.1 mOhm	ok
RDC-2W	330 Ohm	330.0002 Ohm	330.0000 Ohm	-0.2 mOhm	-1	36.0 mOhm	4.7 mOhm	ok
RDC-2W	1 kOhm	0.6649789 kOhm	0.6650000 kOhm	0.0211 Ohm	30	0.0695 Ohm	0.0075 Ohm	ok
RDC-2W	1 kOhm	0.999991 kOhm	1.000000 kOhm	0.009 Ohm	9	0.103 Ohm	0.010 Ohm	ok
RDC-2W	3.3 kOhm	2.099888 kOhm	2.100000 kOhm	0.112 Ohm	47	0.240 Ohm	0.040 Ohm	ok
RDC-2W	3.3 kOhm	3.299808 kOhm	3.300000 kOhm	0.192 Ohm	53	0.360 Ohm	0.047 Ohm	ok
RDC-2W	10 kOhm	6.599781 kOhm	6.600000 kOhm	0.219 Ohm	32	0.690 Ohm	0.075 Ohm	ok
RDC-2W	10 kOhm	9.99981 kOhm	10.00000 kOhm	0.19 Ohm	18	1.03 Ohm	0.11 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	21.49962 kOhm	21.50000 kOhm	0.38 Ohm	16	2.45 Ohm	0.38 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	32.99927 kOhm	33.00000 kOhm	0.73 Ohm	20	3.60 Ohm	0.46 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	66.49985 kOhm	66.50000 kOhm	0.15 Ohm	2	6.95 Ohm	0.76 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	99.9995 kOhm	100.0000 kOhm	0.5 Ohm	5	10.3 Ohm	1.0 Ohm	ok
RDC-2W	330 kOhm	215.0012 kOhm	215.0000 kOhm	-1.2 Ohm	-5	24.5 Ohm	4.6 Ohm	ok
RDC-2W	330 kOhm	330.0022 kOhm	330.0000 kOhm	-2.2 Ohm	-6	36.0 Ohm	5.6 Ohm	ok
RDC-2W	1 MOhm	0.6599993 MOhm	0.6600000 MOhm	0.0007 kOhm	1	0.1020 kOhm	0.0088 kOh	ok
RDC-2W	1 MOhm	0.999989 MOhm	1.000000 MOhm	0.011 kOhm	7	0.153 kOhm	0.012 kOhm	ok
RDC-2W	3.3 MOhm	2.15014 MOhm	2.15000 MOhm	-0.14 kOhm	-40	0.35 kOhm	0.17 kOhm	ok
RDC-2W	3.3 MOhm	3.30002 MOhm	3.30000 MOhm	-0.02 kOhm	-3	0.53 kOhm	0.18 kOhm	ok
RDC-2W	10 MOhm	6.64998 MOhm	6.65000 MOhm	0.02 kOhm	1	1.36 kOhm	0.24 kOhm	ok
RDC-2W	10 MOhm	9.99971 MOhm	10.00000 MOhm	0.29 kOhm	14	2.03 kOhm	0.30 kOhm	ok
RDC-2W	33 MOhm	21.518 MOhm	21.500 MOhm	-18 kOhm	-83	22 kOhm	20 kOhm	?
RDC-2W	33 MOhm	33.002 MOhm	33.000 MOhm	-2 kOhm	-7	33 kOhm	14 kOhm	ok
RDC-2W	100 MOhm	66.516 MOhm	66.500 MOhm	-16 kOhm	-12	133 kOhm	16 kOhm	ok
RDC-2W	100 MOhm	99.997 MOhm	100.000 MOhm	3 kOhm	1	200 kOhm	19 kOhm	ok
RDC-2W	330 MOhm	216.3 MOhm	215.0 MOhm	-1272 kOhm	-197	645 kOhm	1287 kOhm	?
RDC-2W	330 MOhm	330.4 MOhm	330.0 MOhm	-374 kOhm	-38	990 kOhm	1357 kOhm	?
RDC-2W	1 GOhm	0.6613 GOhm	0.6600 GOhm	-1.3 MOhm	-27	4.6 MOhm	1.6 MOhm	ok
RDC-2W	1 GOhm	0.917 GOhm	1.000 GOhm	83 MOhm	999	7 MOhm	62 MOhm	*
RDC-4W	10 Ohm	0.000267 Ohm	0.000000 Ohm	-0.267 mOhm	-27	1.000 mOhm	0.029 mOhm	ok
RDC-4W	10 Ohm	4.99928 Ohm	5.00000 Ohm	0.72 mOhm	29	2.50 mOhm	0.16 mOhm	ok
RDC-4W	10 Ohm	9.99984 Ohm	10.00000 Ohm	0.16 mOhm	4	4.00 mOhm	0.17 mOhm	ok
RDC-4W	33 Ohm	21.50299 Ohm	21.50000 Ohm	-2.99 mOhm	-47	6.37 mOhm	0.36 mOhm	ok
RDC-4W	33 Ohm	33.00402 Ohm	33.00000 Ohm	-4.02 mOhm	-43	9.25 mOhm	0.47 mOhm	ok
RDC-4W	100 Ohm	66.50301 Ohm	66.50000 Ohm	-3.01 mOhm	-27	10.98 mOhm	0.75 mOhm	ok
RDC-4W	100 Ohm	100.0047 Ohm	100.0000 Ohm	-4.7 mOhm	-29	16.0 mOhm	1.0 mOhm	ok
RDC-4W	330 Ohm	215.0380 Ohm	215.0000 Ohm	-38.0 mOhm	-155	24.5 mOhm	3.7 mOhm	*
RDC-4W	330 Ohm	330.0370 Ohm	330.0000 Ohm	-37.0 mOhm	-103	36.0 mOhm	5.0 mOhm	?
RDC-4W	1 kOhm	0.6650312 kOhm	0.6650000 kOhm	-0.0312 Ohm	-45	0.0695 Ohm	0.0077 Ohm	ok
RDC-4W	1 kOhm	1.000022 kOhm	1.000000 kOhm	-0.022 Ohm	-21	0.103 Ohm	0.011 Ohm	ok
RDC-4W	3.3 kOhm	2.150406 kOhm	2.150000 kOhm	-0.406 Ohm	-166	0.245 Ohm	0.038 Ohm	*
RDC-4W	3.3 kOhm	3.300348 kOhm	3.300000 kOhm	-0.348 Ohm	-97	0.360 Ohm	0.047 Ohm	?
RDC-4W	10 kOhm	6.650349 kOhm	6.650000 kOhm	-0.349 Ohm	-50	0.695 Ohm	0.076 Ohm	ok
RDC-4W	10 kOhm	10.00035 kOhm	10.00000 kOhm	-0.35 Ohm	-34	1.03 Ohm	0.10 Ohm	ok
RDC-4W	33 kOhm	21.49995 kOhm	21.50000 kOhm	0.05 Ohm	2	2.45 Ohm	0.36 Ohm	ok
RDC-4W	33 kOhm	32.99981 kOhm	33.00000 kOhm	0.19 Ohm	5	3.60 Ohm	0.46 Ohm	ok
RDC-4W	100 kOhm	66.49994 kOhm	66.50000 kOhm	0.06 Ohm	1	6.95 Ohm	0.75 Ohm	ok
RDC-4W	100 kOhm	99.9998 kOhm	100.0000 kOhm	0.2 Ohm	2	10.3 Ohm	1.0 Ohm	ok
RDC-4W	330 kOhm	215.0060 kOhm	215.0000 kOhm	-6.0 Ohm	-24	24.5 Ohm	4.5 Ohm	ok
RDC-4W	330 kOhm	330.0054 kOhm	330.0000 kOhm	-5.4 Ohm	-15	36.0 Ohm	5.6 Ohm	ok
RDC-4W	1 MOhm	0.6649994 MOhm	0.6650000 MOhm	0.0006 kOhm	1	0.1028 kOhm	0.0088 kOh	ok
RDC-4W	1 MOhm	0.999986 MOhm	1.000000 MOhm	0.014 kOhm	9	0.153 kOhm	0.012 kOhm	ok

## Výsledky měření:

RDC-4W	3.3 MOhm	2.15019 MOhm	2.15000 MOhm	-0.19 kOhm	-55	0.35 kOhm	0.17 kOhm	?
RDC-4W	3.3 MOhm	3.30005 MOhm	3.30000 MOhm	-0.05 kOhm	-10	0.53 kOhm	0.18 kOhm	ok
RDC-4W	10 MOhm	-1.45 MOhm	6.65 MOhm	8105 kOhm	999	1 kOhm	285 kOhm	*
RDC-4W	10 MOhm	-1.47 MOhm	10.00 MOhm	11471 kOhm	999	2 kOhm	354 kOhm	*
LVR_FIX_2W	100 mOhm	861.303 mOhm	861.200 mOhm	-103 uOhm	0	86120 uOhm	72 uOhm	ok
LVR_FIX_2W	100 mOhm	861.453 mOhm	861.200 mOhm	-253 uOhm	0	86120 uOhm	32 uOhm	ok
LVR_FIX_2W	1 Ohm	1.767780 Ohm	1.763500 Ohm	-4.280 mOhm	-12	35.270 mOhm	0.037 mOhm	ok
LVR_FIX_2W	10 Ohm	10.87327 Ohm	10.86750 Ohm	-5.77 mOhm	-53	10.87 mOhm	0.18 mOhm	ok
LVR_FIX_2W	100 Ohm	101.7816 Ohm	101.7713 Ohm	-10.3 mOhm	-67	15.3 mOhm	1.1 mOhm	ok
LVR_FIX_2W	1 kOhm	1.000808 kOhm	1.000783 kOhm	-0.025 Ohm	-165	0.015 Ohm	0.010 Ohm	?
LVR_FIX_2W	10 kOhm	9.99984 kOhm	9.99979 kOhm	-0.05 Ohm	-34	0.15 Ohm	0.10 Ohm	?
LVR_FIX_2W	100 kOhm	100.0058 kOhm	100.0048 kOhm	-1.0 Ohm	-66	1.5 Ohm	1.0 Ohm	?
LVR_FIX_2W	1 MOhm	0.998782 MOhm	0.998795 MOhm	0.013 kOhm	42	0.030 kOhm	0.012 kOhm	ok
LVR_FIX_2W	10 MOhm	9.96341 MOhm	9.96405 MOhm	0.65 kOhm	13	4.98 kOhm	0.31 kOhm	ok
LVR_FIX_2W	100 MOhm	100.133 MOhm	100.102 MOhm	-31 kOhm	-310	10 kOhm	48 kOhm	?
LVR_FIX_2W	1 GOhm	0.891 GOhm	0.988 GOhm	96 MOhm	999	2 MOhm	68 MOhm	*
LVR_FIX_4W	100 mOhm	105.527 mOhm	105.200 mOhm	-327 uOhm	-999	0 uOhm	12 uOhm	*
LVR_FIX_4W	1 Ohm	1.008161 Ohm	1.007500 Ohm	-0.661 mOhm	-66	1.008 mOhm	0.025 mOhm	ok
LVR_FIX_4W	10 Ohm	10.11603 Ohm	10.11150 Ohm	-4.53 mOhm	-448	1.01 mOhm	0.16 mOhm	*
LVR_FIX_4W	100 Ohm	101.0213 Ohm	101.0153 Ohm	-6.0 mOhm	-297	2.0 mOhm	1.1 mOhm	*
LVR_FIX_4W	1 kOhm	1.000089 kOhm	1.000027 kOhm	-0.062 Ohm	-415	0.015 Ohm	0.011 Ohm	*
LVR_FIX_4W	10 kOhm	9.99934 kOhm	9.99903 kOhm	-0.31 Ohm	-208	0.15 Ohm	0.11 Ohm	*
LVR_FIX_4W	100 kOhm	100.0050 kOhm	100.0040 kOhm	-1.0 Ohm	-67	1.5 Ohm	1.0 Ohm	?
LVR_FIX_4W	1 MOhm	0.1000089 MOhm	0.1000040 MOhm	-0.0049 kOhm	-999	0.0000 kOhm	0.0034 kOhm	*
LVR_FIX_4W	10 MOhm	0.10004 MOhm	0.10000 MOhm	-0.04 kOhm	-999	0.00 kOhm	0.13 kOhm	?

## Popis symbolů:

- ok ... vyhovuje
- ? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření
- \* ... nevyhovuje
- ~ ... nestabilní údaj

**Nejistota měření:** Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu  $k$  s pravděpodobnosti pokrytí 95% odpovídajícímu při normálním rozložení koeficientu  $k=2$ . Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

**Závěr:** Vyhověl mimo bodů označených znakem \*, ?.

**Předjustážní protokol č.** 3

---

**Výrobce:** Meatest

Tento kalibrační certifikát dokumentuje návaznost na státní etalony realizující jednotky v souladu s Mezinárodním systémem jednotek (SI)

**Typ:** 9010

**Výrobní číslo:** 1

**Žadatel:** -

Uživatel měřidla odpovídá za recalibraci měřidla v přiměřeném recalibračním intervalu.

**Počet stran:** 4

**Datum kalibrace:** 10.5.2019

---

<b>Razítko</b>	<b>Datum</b>	<b>Vedoucí laboratoře</b>	<b>Kalibroval</b>
	10.5.2019	Ing. Karel Volný	Martin Mičulka

---

Tento kalibrační certifikát se může rozmnožovat pouze celý a nezměněný. Rozmnožovat jeho části je možné jen se souhlasem kalibrační laboratoře. Kalibrační certifikát je neplatný bez podpisu a bez razítka.

**Postup kalibrace:** Kalibrace programem pro automatizovanou kalibraci Caliber řídicím souborem: BP\_FINAL\_MICULKA

Direct measurement multimeter Fluke 8508A SN: 103359191

**Podmínky měření:** Autorization No. 6000-OR-029-04

Issued by Czech meterology institute in Brno

**Podmínky okolí:** Teplota  $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$

Relativní vlhkost  $(41,4 \pm 15) \%$

## Výsledky měření:

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
RDC-2W	10 Ohm	-0.000323 Ohm	0.000000 Ohm	0.323 mOhm	32	1.000 mOhm	0.045 mOhm	ok
RDC-2W	10 Ohm	4.99837 Ohm	5.000000 Ohm	1.63 mOhm	65	2.50 mOhm	0.11 mOhm	ok
RDC-2W	10 Ohm	9.99800 Ohm	10.000000 Ohm	2.00 mOhm	50	4.00 mOhm	0.17 mOhm	ok
RDC-2W	33 Ohm	21.49646 Ohm	21.500000 Ohm	3.54 mOhm	56	6.37 mOhm	0.44 mOhm	ok
RDC-2W	33 Ohm	32.99445 Ohm	33.000000 Ohm	5.55 mOhm	60	9.25 mOhm	0.49 mOhm	ok
RDC-2W	100 Ohm	66.49849 Ohm	66.500000 Ohm	1.51 mOhm	14	10.98 mOhm	0.77 mOhm	ok
RDC-2W	100 Ohm	99.9985 Ohm	100.000000 Ohm	1.5 mOhm	9	16.0 mOhm	1.0 mOhm	ok
RDC-2W	330 Ohm	214.9833 Ohm	215.000000 Ohm	16.7 mOhm	68	24.5 mOhm	3.9 mOhm	ok
RDC-2W	330 Ohm	329.9836 Ohm	330.000000 Ohm	16.4 mOhm	46	36.0 mOhm	5.1 mOhm	ok
RDC-2W	1 kOhm	0.6650219 kOhm	0.6650000 kOhm	-0.0218 Ohm	-31	0.0695 Ohm	0.0076 Ohm	ok
RDC-2W	1 kOhm	1.000027 kOhm	1.000000 kOhm	-0.027 Ohm	-26	0.103 Ohm	0.010 Ohm	ok
RDC-2W	3.3 kOhm	2.099907 kOhm	2.100000 kOhm	0.093 Ohm	39	0.240 Ohm	0.038 Ohm	ok
RDC-2W	3.3 kOhm	3.299910 kOhm	3.300000 kOhm	0.090 Ohm	25	0.360 Ohm	0.047 Ohm	ok
RDC-2W	10 kOhm	6.599881 kOhm	6.600000 kOhm	0.119 Ohm	17	0.690 Ohm	0.075 Ohm	ok
RDC-2W	10 kOhm	9.99957 kOhm	10.000000 kOhm	0.43 Ohm	42	1.03 Ohm	0.10 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	21.49959 kOhm	21.500000 kOhm	0.41 Ohm	17	2.45 Ohm	0.38 Ohm	ok
RDC-2W	33 kOhm	32.99918 kOhm	33.000000 kOhm	0.82 Ohm	23	3.60 Ohm	0.46 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	66.49906 kOhm	66.500000 kOhm	0.94 Ohm	13	6.95 Ohm	0.75 Ohm	ok
RDC-2W	100 kOhm	99.9985 kOhm	100.000000 kOhm	1.5 Ohm	15	10.3 Ohm	1.0 Ohm	ok
RDC-2W	330 kOhm	214.9964 kOhm	215.000000 kOhm	3.6 Ohm	15	24.5 Ohm	4.7 Ohm	ok
RDC-2W	330 kOhm	329.9951 kOhm	330.000000 kOhm	4.9 Ohm	14	36.0 Ohm	5.8 Ohm	ok
RDC-2W	1 MOhm	0.659994 MOhm	0.6600000 MOhm	0.006 kOhm	6	0.102 kOhm	0.010 kOhm	ok
RDC-2W	1 MOhm	1.000014 MOhm	1.0000000 MOhm	-0.014 kOhm	-9	0.153 kOhm	0.012 kOhm	~ok
RDC-2W	3.3 MOhm	2.15007 MOhm	2.150000 MOhm	-0.07 kOhm	-18	0.35 kOhm	0.17 kOhm	ok
RDC-2W	3.3 MOhm	3.29994 MOhm	3.300000 MOhm	0.06 kOhm	11	0.53 kOhm	0.18 kOhm	ok
RDC-2W	10 MOhm	6.65055 MOhm	6.650000 MOhm	-0.55 kOhm	-41	1.36 kOhm	0.24 kOhm	ok
RDC-2W	10 MOhm	10.00124 MOhm	10.000000 MOhm	-1.24 kOhm	-61	2.03 kOhm	0.30 kOhm	ok
RDC-2W	33 MOhm	21.506 MOhm	21.500000 MOhm	-6 kOhm	-27	22 kOhm	13 kOhm	ok
RDC-2W	33 MOhm	32.992 MOhm	33.000000 MOhm	8 kOhm	23	33 kOhm	15 kOhm	ok
RDC-2W	100 MOhm	66.516 MOhm	66.500000 MOhm	-16 kOhm	-12	133 kOhm	16 kOhm	ok
RDC-2W	100 MOhm	100.017 MOhm	100.000000 MOhm	-17 kOhm	-9	200 kOhm	19 kOhm	ok
RDC-2W	330 MOhm	215.3 MOhm	215.000000 MOhm	-338 kOhm	-52	645 kOhm	1286 kOhm	?
RDC-2W	330 MOhm	329.1 MOhm	330.000000 MOhm	886 kOhm	90	990 kOhm	1355 kOhm	?
RDC-2W	1 GOhm	0.6599 GOhm	0.6600000 GOhm	0.1 MOhm	3	4.6 MOhm	1.6 MOhm	ok
RDC-2W	1 GOhm	0.915 GOhm	1.0000000 GOhm	85 MOhm	999	7 MOhm	65 MOhm	*
RDC-4W	10 Ohm	-0.000004 Ohm	0.0000000 Ohm	0.004 mOhm	0	1.000 mOhm	0.022 mOhm	ok
RDC-4W	10 Ohm	4.97723 Ohm	5.0000000 Ohm	22.77 mOhm	911	2.50 mOhm	0.14 mOhm	*
RDC-4W	10 Ohm	9.99696 Ohm	10.0000000 Ohm	3.04 mOhm	76	4.00 mOhm	0.19 mOhm	ok
RDC-4W	33 Ohm	21.49888 Ohm	21.5000000 Ohm	1.12 mOhm	18	6.37 mOhm	0.38 mOhm	ok
RDC-4W	33 Ohm	32.99960 Ohm	33.0000000 Ohm	0.40 mOhm	4	9.25 mOhm	0.48 mOhm	ok
RDC-4W	100 Ohm	66.50048 Ohm	66.5000000 Ohm	-0.48 mOhm	-4	10.98 mOhm	0.76 mOhm	ok
RDC-4W	100 Ohm	100.0004 Ohm	100.0000000 Ohm	-0.4 mOhm	-2	16.0 mOhm	1.1 mOhm	ok
RDC-4W	330 Ohm	215.0349 Ohm	215.0000000 Ohm	-34.9 mOhm	-143	24.5 mOhm	3.7 mOhm	*
RDC-4W	330 Ohm	330.0343 Ohm	330.0000000 Ohm	-34.3 mOhm	-95	36.0 mOhm	5.0 mOhm	?
RDC-4W	1 kOhm	0.6650385 kOhm	0.665000000 kOhm	-0.0385 Ohm	-55	0.0695 Ohm	0.0076 Ohm	ok
RDC-4W	1 kOhm	1.000042 kOhm	1.000000000 kOhm	-0.042 Ohm	-40	0.103 Ohm	0.010 Ohm	ok
RDC-4W	3.3 kOhm	2.150449 kOhm	2.150000000 kOhm	-0.449 Ohm	-183	0.245 Ohm	0.037 Ohm	*
RDC-4W	3.3 kOhm	3.300219 kOhm	3.300000000 kOhm	-0.219 Ohm	-61	0.360 Ohm	0.047 Ohm	ok
RDC-4W	10 kOhm	6.650500 kOhm	6.650000000 kOhm	-0.500 Ohm	-72	0.695 Ohm	0.075 Ohm	ok
RDC-4W	10 kOhm	10.00034 kOhm	10.000000000 kOhm	-0.34 Ohm	-33	1.03 Ohm	0.10 Ohm	ok
RDC-4W	33 kOhm	21.49996 kOhm	21.500000000 kOhm	0.04 Ohm	2	2.45 Ohm	0.36 Ohm	ok
RDC-4W	33 kOhm	32.99972 kOhm	33.000000000 kOhm	0.28 Ohm	8	3.60 Ohm	0.46 Ohm	ok
RDC-4W	100 kOhm	66.49951 kOhm	66.500000000 kOhm	0.49 Ohm	7	6.95 Ohm	0.75 Ohm	~ok
RDC-4W	100 kOhm	99.9992 kOhm	100.000000000 kOhm	0.8 Ohm	8	10.3 Ohm	1.0 Ohm	ok
RDC-4W	330 kOhm	215.0058 kOhm	215.000000000 kOhm	-5.8 Ohm	-24	24.5 Ohm	4.4 Ohm	ok
RDC-4W	330 kOhm	330.0019 kOhm	330.000000000 kOhm	-1.9 Ohm	-5	36.0 Ohm	5.6 Ohm	ok
RDC-4W	1 MOhm	0.6650002 MOhm	0.665000000 MOhm	-0.0002 kOhm	0	0.1028 kOhm	0.0088 kOh	ok
RDC-4W	1 MOhm	1.000007 MOhm	1.000000000 MOhm	-0.007 kOhm	-4	0.153 kOhm	0.012 kOhm	ok

## Výsledky měření:

LVR_FIX_2W   100 mOhm	849.87 mOhm	853.20 mOhm	3326 uOhm	4	85320 uOhm	111 uOhm	ok
LVR_FIX_2W   1 Ohm	1.75634 Ohm	1.75550 Ohm	-0.84 mOhm	-2	35.11 mOhm	0.11 mOhm	ok
LVR_FIX_2W   10 Ohm	10.86120 Ohm	10.85950 Ohm	-1.70 mOhm	-16	10.86 mOhm	0.17 mOhm	ok
LVR_FIX_2W   100 Ohm	101.7698 Ohm	101.7633 Ohm	-6.5 mOhm	-43	15.3 mOhm	1.1 mOhm	ok
LVR_FIX_2W   1 kOhm	1.000791 kOhm	1.000805 kOhm	0.014 Ohm	95	0.015 Ohm	0.010 Ohm	?
LVR_FIX_2W   10 kOhm	9.99977 kOhm	9.99978 kOhm	0.00 Ohm	3	0.15 Ohm	0.10 Ohm	ok
LVR_FIX_2W   100 kOhm	100.0054 kOhm	100.0048 kOhm	-0.6 Ohm	-43	1.5 Ohm	1.0 Ohm	?
LVR_FIX_2W   1 MOhm	0.998798 MOhm	0.998795 MOhm	-0.003 kOhm	-9	0.030 kOhm	0.012 kOhm	ok
LVR_FIX_2W   10 MOhm	9.96490 MOhm	9.96405 MOhm	-0.85 kOhm	-17	4.98 kOhm	0.32 kOhm	ok
LVR_FIX_2W   100 MOhm	100.236 MOhm	100.232 MOhm	-4 kOhm	-42	10 kOhm	20 kOhm	?
LVR_FIX_2W   1 GOhm	0.907 GOhm	0.908 GOhm	1 MOhm	47	2 MOhm	64 MOhm	?
LVR_FIX_4W   100 mOhm	105.7847 mOhm	105.7000 mOhm	-84.7 uOhm	-80	105.7 uOhm	9.8 uOhm	ok
LVR_FIX_4W   100 mOhm	0.317 mOhm	0.500 mOhm	183 uOhm	999	1 uOhm	10 uOhm	*
LVR_FIX_4W   1 Ohm	1.008253 Ohm	1.007500 Ohm	-0.753 mOhm	-75	1.008 mOhm	0.024 mOhm	ok
LVR_FIX_4W   10 Ohm	10.11810 Ohm	10.11750 Ohm	-0.60 mOhm	-59	1.01 mOhm	0.13 mOhm	ok
LVR_FIX_4W   100 Ohm	101.0228 Ohm	101.0233 Ohm	0.5 mOhm	27	2.0 mOhm	1.0 mOhm	ok
LVR_FIX_4W   1 kOhm	1.000104 kOhm	1.000098 kOhm	-0.006 Ohm	-37	0.015 Ohm	0.010 Ohm	?
LVR_FIX_4W   10 kOhm	9.99963 kOhm	9.99967 kOhm	0.04 Ohm	23	0.15 Ohm	0.10 Ohm	ok
LVR_FIX_4W   100 kOhm	100.0051 kOhm	100.0050 kOhm	-0.1 Ohm	-5	1.5 Ohm	1.0 Ohm	ok

## Popis symbolů:

- ok ... vyhovuje
- ? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření
- \* ... nevyhovuje
- ~ ... nestabilní údaj

**Nejistota měření:** Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu  $k$  s pravděpodobnosti pokrytí 95% odpovídajícímu při normálním rozložení koeficientu  $k=2$ . Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

**Závěr:** Vyhověl mimo bodů označených znakem \*, ?.

**Předjustážní protokol č.** 4

---

**Výrobce:** Meatest

Tento kalibrační certifikát dokumentuje návaznost na státní etalony realizující jednotky v souladu s Mezinárodním systémem jednotek (SI)

**Typ:** 9010

**Výrobní číslo:** 1

**Žadatel:** -

Uživatel měřidla odpovídá za recalibraci měřidla v přiměřeném recalibračním intervalu.

**Počet stran:** 3

**Datum kalibrace:** 15.5.2019

---

<b>Razítko</b>	<b>Datum</b>	<b>Vedoucí laboratoře</b>	<b>Kalibroval</b>
	15.5.2019	Ing. Karel Volný	Martin Mičulka

---

Tento kalibrační certifikát se může rozmnožovat pouze celý a nezměněný. Rozmnožovat jeho části je možné jen se souhlasem kalibrační laboratoře. Kalibrační certifikát je neplatný bez podpisu a bez razítka.

**Postup kalibrace:** Kalibrace programem pro automatizovanou kalibraci Caliber řídicím souborem: BP\_FINAL\_MICULKA

Direct measurement LRC meter Agilent E4980A SN:MY46203974

**Podmínky měření:** Autorization No. 6000-OR-029-04

Issued by Czech meterology institute in Brno

**Podmínky okolí:** Teplota  $(22,8 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$

Relativní vlhkost  $(38 \pm 15) \%$



## Výsledky měření:

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
C-2W	1 nF	0.99498 nF	1.00000 nF	5.02 pF	25	20.00 pF	0.57 pF	ok
C-2W	3.3 nF	2.1476 nF	2.1500 nF	2.4 pF	9	25.8 pF	1.2 pF	ok
C-2W	3.3 nF	3.2973 nF	3.3000 nF	2.7 pF	8	31.5 pF	1.9 pF	ok
C-2W	10 nF	6.6551 nF	6.6500 nF	-5.1 pF	-15	33.3 pF	3.8 pF	ok
C-2W	10 nF	10.0003 nF	10.0000 nF	-0.3 pF	-1	50.0 pF	5.8 pF	ok
C-2W	33 nF	21.506 nF	21.500 nF	-6 pF	-6	108 pF	12 pF	ok
C-2W	33 nF	33.016 nF	33.000 nF	-16 pF	-9	165 pF	19 pF	ok
C-2W	100 nF	66.684 nF	66.500 nF	-184 pF	-55	333 pF	39 pF	ok
C-2W	100 nF	100.028 nF	100.000 nF	-28 pF	-6	500 pF	58 pF	ok
C-2W	330 nF	215.83 nF	215.00 nF	-835 pF	-39	2150 pF	125 pF	ok
C-2W	330 nF	330.30 nF	330.00 nF	-302 pF	-9	3300 pF	191 pF	ok
C-2W	1 uF	0.66746 uF	0.66500 uF	-2.46 nF	-37	6.65 nF	0.39 nF	ok
C-2W	1 uF	1.00088 uF	1.00000 uF	-0.88 nF	-9	10.00 nF	0.58 nF	ok
C-2W	3.3 uF	2.1622 uF	2.1500 uF	-12.2 nF	-38	32.3 nF	1.2 nF	ok
C-2W	3.3 uF	3.3044 uF	3.3000 uF	-4.4 nF	-9	49.5 nF	1.9 nF	ok
C-2W	10 uF	6.6659 uF	6.6500 uF	-15.9 nF	-16	99.8 nF	3.8 nF	ok
C-2W	10 uF	10.0342 uF	10.0000 uF	-34.2 nF	-23	150.0 nF	5.8 nF	ok
C-2W	33 uF	21.679 uF	21.500 uF	-179 nF	-42	430 nF	13 nF	ok
C-2W	33 uF	33.412 uF	33.000 uF	-412 nF	-62	660 nF	19 nF	ok
C-2W	100 uF	66.567 uF	66.500 uF	-67 nF	-4	1663 nF	38 nF	ok
C-2W	100 uF	99.999 uF	100.000 uF	1 nF	0	2500 nF	58 nF	ok
C-2W	1 mF	0.55210 mF	0.55000 mF	-2.10 uF	-13	16.50 uF	0.32 uF	ok
C-2W	1 mF	1.000 mF	1.000 mF	0 uF	0	30 uF	69 uF	?
C-2W	10 mF	5.50 mF	5.50 mF	0 uF	0	275 uF	121 uF	ok
C-2W	10 mF	10.00 mF	10.00 mF	5 uF	1	500 uF	693 uF	?
C-2W	120 mF	65.0 mF	65.0 mF	50 uF	2	3250 uF	1331 uF	ok
C-2W	120 mF	118.95 mF	119.00 mF	50 uF	1	5950 uF	300 uF	ok
C_FIX_2W	700 pF	501.12 pF	512.40 pF	11284 fF	56	20000 fF	290 fF	ok
C_FIX_2W	1 nF	0.86419 nF	0.87640 nF	12.21 pF	20	60.00 pF	0.50 pF	ok
C_FIX_2W	3.3 nF	3.0821 nF	3.0990 nF	16.9 pF	10	165.0 pF	1.8 pF	ok
C_FIX_2W	10 nF	10.1265 nF	10.1548 nF	28.3 pF	6	500.0 pF	5.8 pF	ok
C_FIX_2W	33 nF	32.992 nF	33.048 nF	56 pF	3	1650 pF	19 pF	ok
C_FIX_2W	100 nF	100.514 nF	100.700 nF	186 pF	4	5000 pF	58 pF	ok
C_FIX_2W	330 nF	321.93 nF	322.56 nF	634 pF	4	16500 pF	186 pF	ok
C_FIX_2W	1 uF	0.96972 uF	0.97140 uF	1.68 nF	3	50.00 nF	0.56 nF	ok
C_FIX_2W	3.3 uF	3.2349 uF	3.2391 uF	4.1 nF	2	165.0 nF	1.9 nF	ok
C_FIX_2W	10 uF	10.0270 uF	10.0194 uF	-7.6 nF	-2	500.0 nF	5.8 nF	ok
C_FIX_2W	33 uF	32.564 uF	32.391 uF	-173 nF	-10	1650 nF	19 nF	ok
C_FIX_2W	100 uF	98.864 uF	98.290 uF	-574 nF	-1	50000 nF	57 nF	ok

Popis symbolů:

ok ... vyhovuje

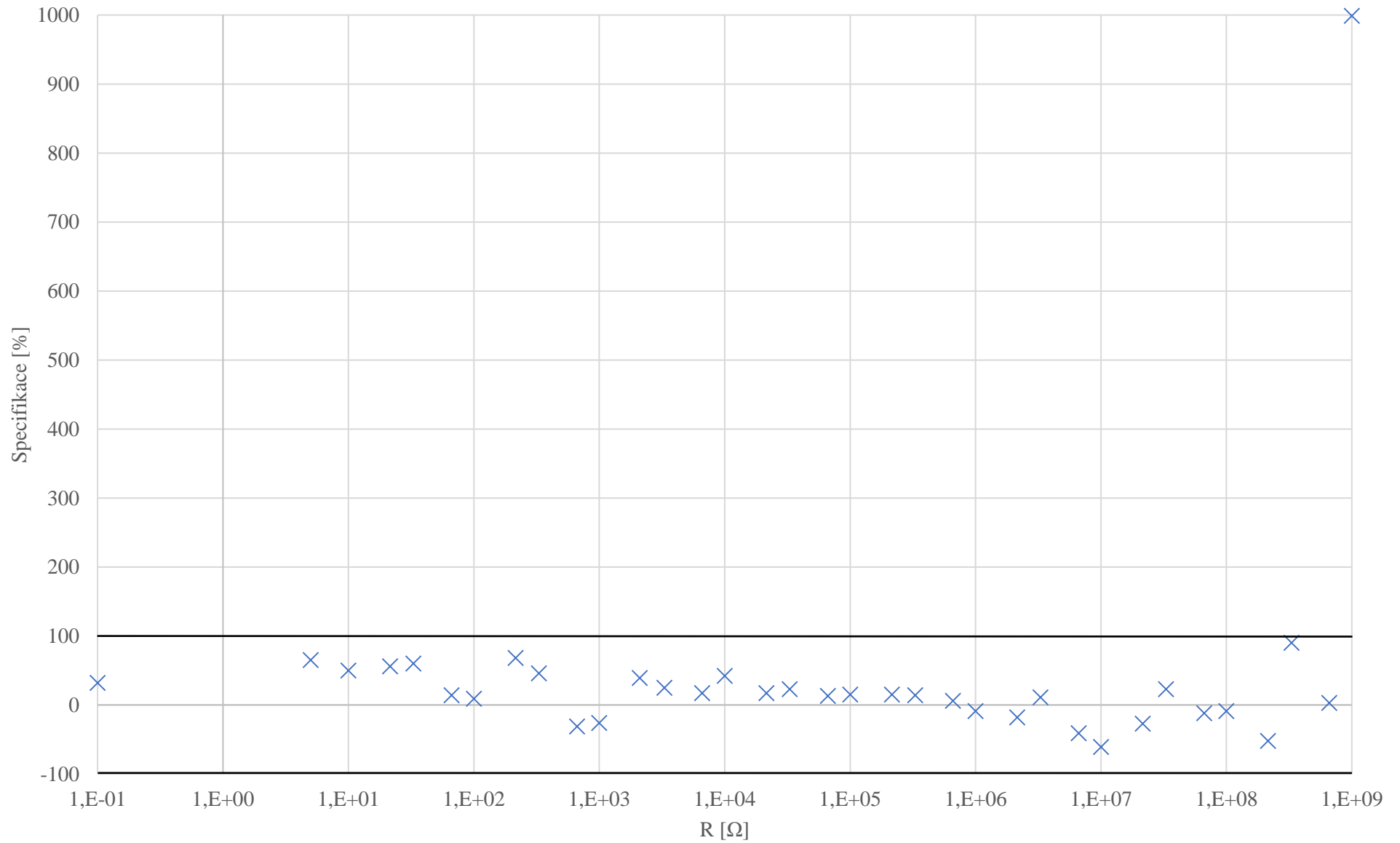
? ... chyba naměřená je v intervalu mezní chyba ± nejistota měření

\* ... nevyhovuje

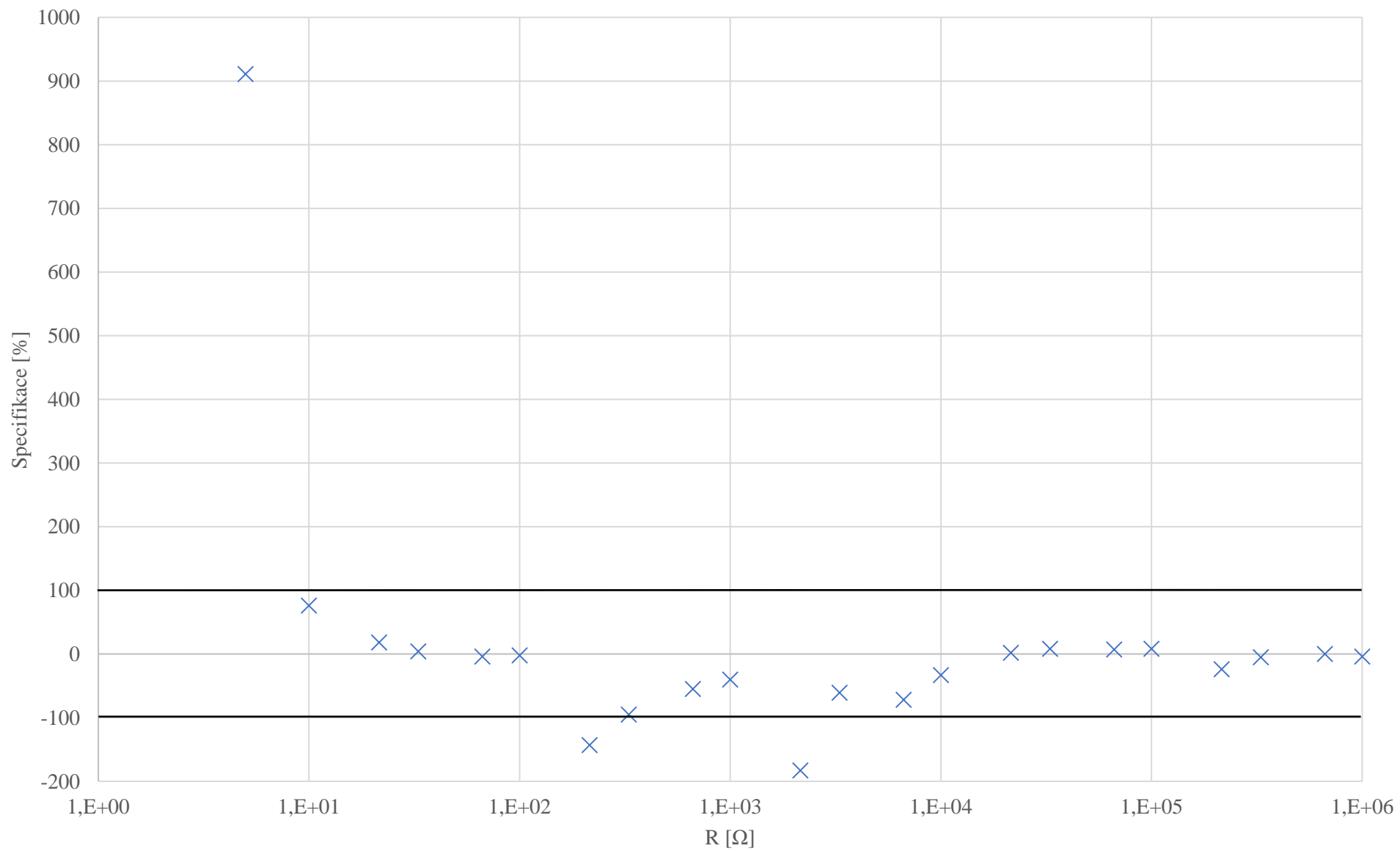
**Nejistota měření:** Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k s pravděpodobností pokrytí 95% odpovídajícím při normálním rozložení koeficientu k=2. Standardní nejistota byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

**Závěr:** Vyhověl mimo bodů označených znakem \*, ?.

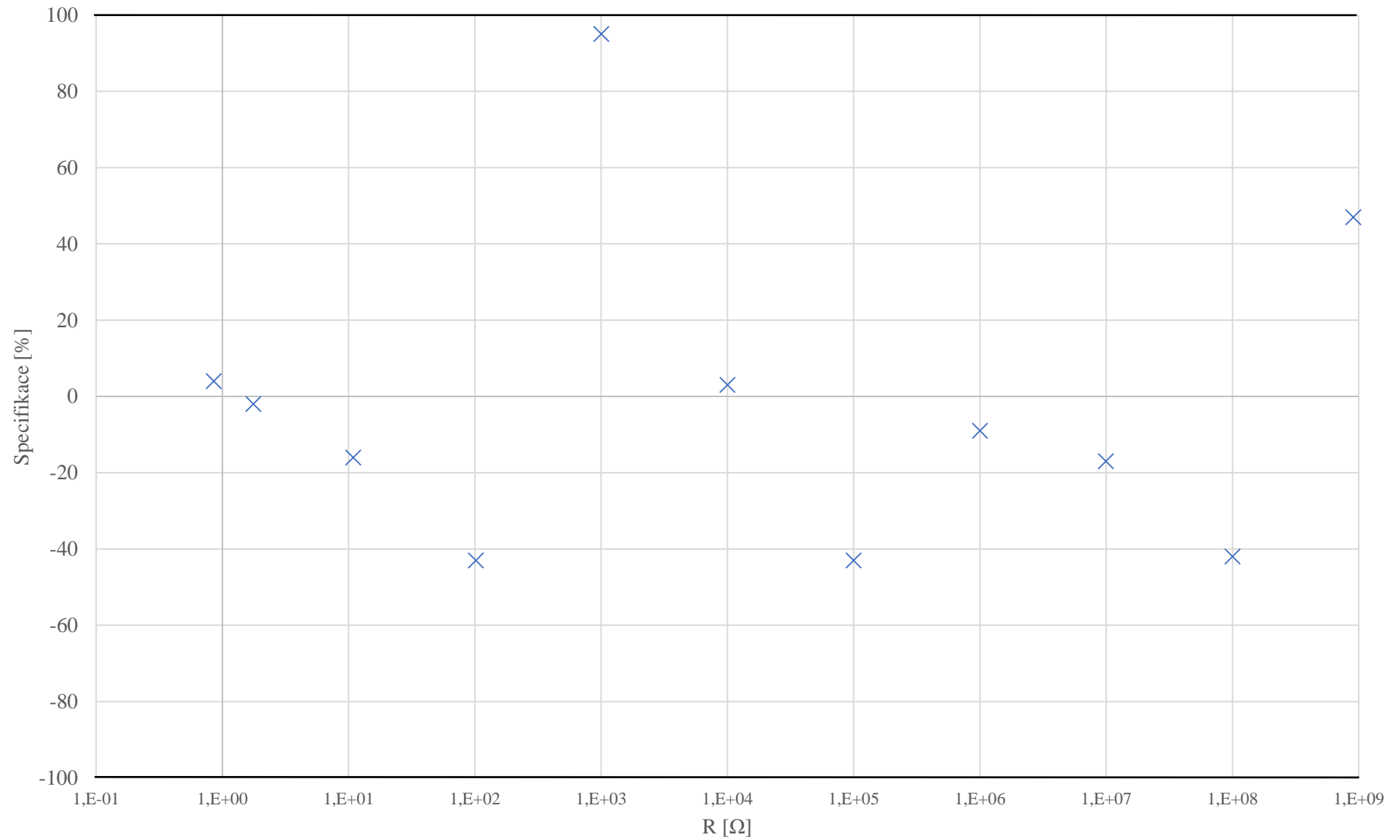
Závislost čerpání specifikace na hodnotě odporu pro funkci RDC-2W



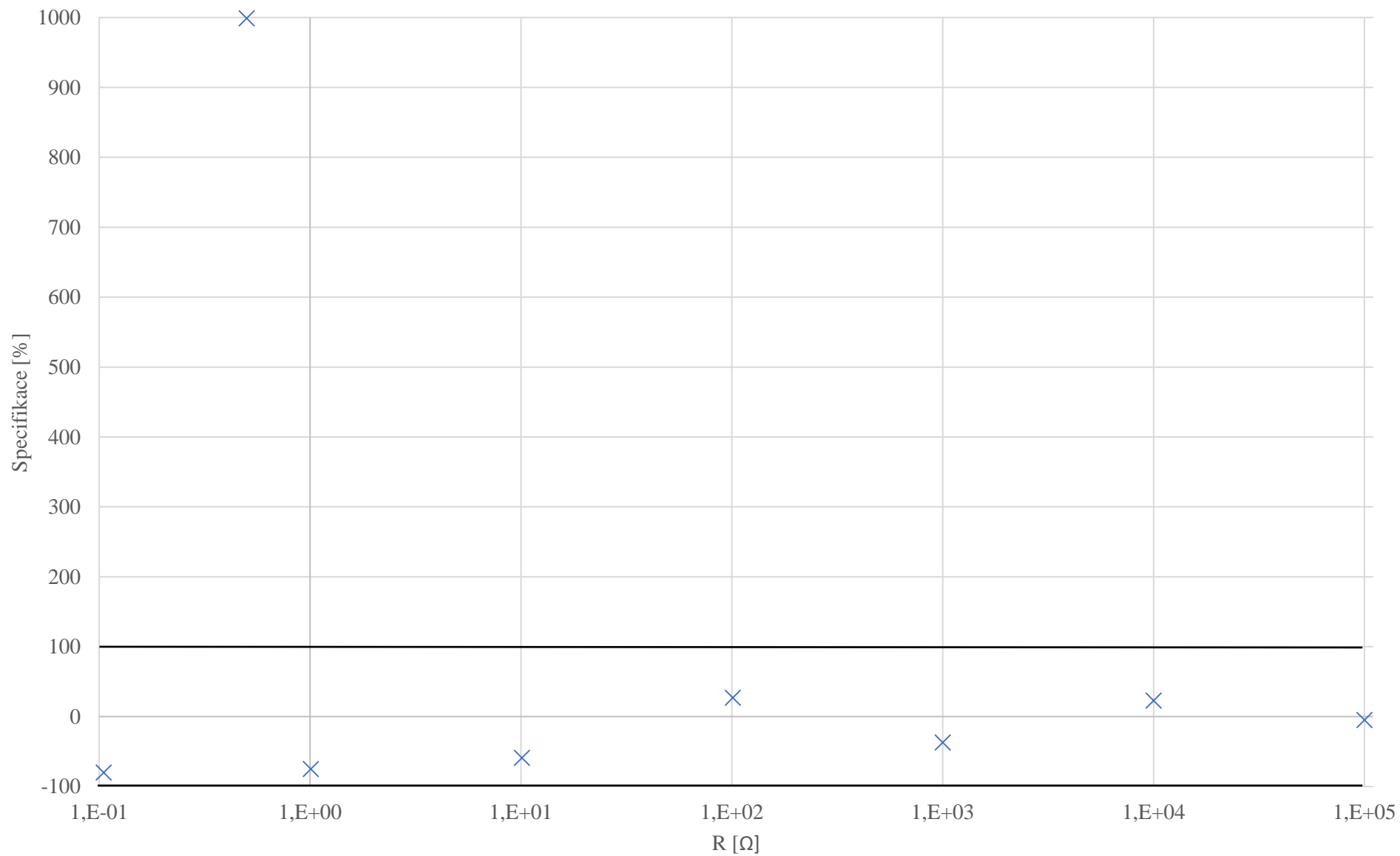
Závislost čerpání specifikace na hodnotě odporu pro funkci RDC-4W



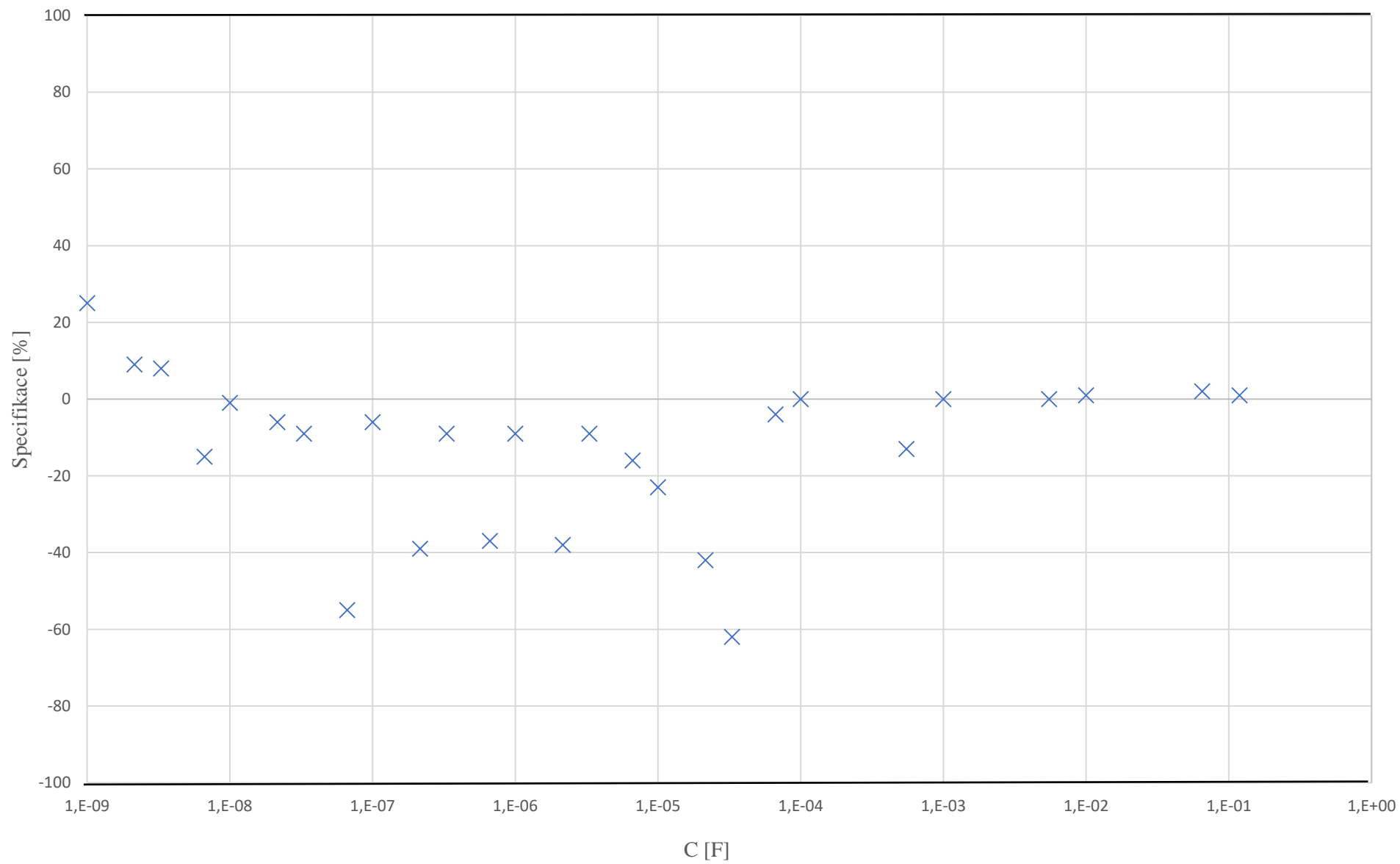
Závislost čerpání specifikace na odporu pro funkci LVR\_FIX\_2W



Závislost čerpání specifikace na hodnotě odporu pro funkci LVR\_FIX\_4W



Závislost čerpání specifikace na hodnotě kapacity pro funkci C-2W



Závislost čerpání specifikace na hodnotě kapacity pro funkci C\_FIX\_2W

