



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

PROGRAMOVATELNÁ ODPOROVÁ DEKÁDA

UTONOMOUS PROGRAMMABLE RESISTANCE DECADE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Pavliska

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Vojtěch Pavliska

ID: 155213

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Programovatelná odporová dekáda

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Prostudujte teorii reálného rezistoru a jeho náhradní schéma zapojení.
2. Popište principy programovatelných odporových dekád a popište jejich funkce a technické parametry, které se uvádějí v technických specifikacích výrobců, uveďte konkrétní příklady.
3. Navrhnete způsob měření frekvenční závislosti programovatelné odporové dekády např. typu M630 firmy Meatest Brno.
4. Na základě návrhu měření frekvenční závislosti dané měření realizujte prakticky a výsledky měření zhodnoťte. Uveďte, zda je možné programovatelnou odporovou dekádu provozovat i jako střídavou a pokud ano, tak pro jaké frekvenční pásmo a s jakou přesností.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Uživatelská příručka M630, programovatelná odporová dekáda, Meatest

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 29.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jan Bartoň

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

Předmětem práce je popis precizní programovatelné dekády M632 od firmy MEATEST spol. s r.o. z hlediska principu, konstrukce, funkčnosti a použití v praxi. Princip je popsán na základě vlastnosti reálného rezistoru a jeho zapojení. Popis pokračuje konstrukcí dekády M632 z pohledu jejích nejdůležitějších komponent. Následující kapitola se zabývá popisem funkčních celků a ovládacích prvků dekády, kalibrací dekády M632. Poslední bod práce se zabývá návrhem a realizací měření na odporové dekádě M642 ve frekvenční závislosti odporu pomocí programu *Caliber*.

Klíčová slova

Reálný rezistor, precizní programovatelná odporová dekáda, M632, M642, MEATEST spol. s r.o., kalibrace dekády, frekvenční závislost, Caliber

Abstract

Subject of this work is description of programmable resistance decade M632 from company MEATEST spol. s r.o. Description will include construction, functionality and practical usage. Principles are described on basis of real resistor and it's connection in electrical circuit. Next part is focused on most important components of M632 followed by part describing functional units and control of resistance decade. Last part is measurement of resistance in dependence of frequency on M642 with Caliber programme.

Keywords

Real resistor, precision programmable resistive load, M632, M642, MEATEST spol. s r.o., calibration of the decade, frequency dependence, Caliber.

Bibliografická citace:

PAVLISKA, V. *Programovatelná odporová dekáda*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 58 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma programovatelná odporová dekáda jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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 **29. května 2017**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marii Havlíkové, Ph. D. a odbornému konzultantovi Ing. Janu Bartoňovi za věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích, ochotu a odborné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne **29. května 2017**

.....
podpis autora

Obsah

1	Reálný rezistor.....	12
1.1	Konstrukce rezistoru.....	12
1.1.1	Drátové rezistory	12
1.1.2	Metalické rezistory	13
1.1.3	Uhlíkové rezistory	13
1.2	Náhradní schéma	13
1.3	Způsoby měření elektrického odporu	13
1.3.1	Ohmová metoda.....	13
1.3.2	Srovnávací metoda	15
1.4	Způsoby zapojení rezistoru	15
2	Programovatelná odporová dekáda M632	17
2.1	Zapojení dekády M632	17
2.2	Popis součástek dekády M632.....	18
2.3	Popis dekády M632.....	21
2.4	Funkce přístroje	22
2.5	Kalibrace dekády.....	24
2.6	Specifikace dekády M632	25
3	Návrh měření frekvenční závislosti dekády M632	27
3.1	Program Caliber	27
3.2	Teoretický návrh měření.....	28
4	Realizace měření frekvenční závislosti dekády M642	30
4.1	Úprava karty přístrojů	30
4.1.1	Karta přístroje Agilent E4980A	30
4.1.2	Karta přístroje M642	33
4.2	Vytvoření procedury M642_BP v programu Caliber.....	34
4.3	Měřicí metoda RLC metru Agilent E4980A.....	35
4.4	Měření na programovatelné odporové dekádě M642.....	36
4.4.1	Blokové schéma měření	37
4.4.2	Seznam měřících přístrojů, jejich specifikace a podmínky měření	37
4.4.3	Měření parazitní paralelní kapacity na dekádě M642	38
4.4.4	Měření parazitní sériové indukčnosti na dekádě M642	42
4.4.5	Grafy frekvenční závislosti R_{M642} odporové dekády M642.....	47
4.4.6	Měření přesnosti odporu dekády M642 na etalonu Fluke 8508A	51
4.4.7	Měření parazitních kapacit vůči kostře dekády M642	52
4.4.8	Zhodnocení měření	53
5	Závěr	55
	Literatura	56

Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	58
Seznam příloh.....	59

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Náhradní schéma reálného rezistoru	13
Obr. 1.2 Zapojení pro měření odporu Ohmovou metodou [3]	14
Obr. 1.3 Zapojení pro měření odporu srovnávací metodou [3]	15
Obr. 1.4 Čtyřvodičové zapojení odporového teploměru [4]	16
Obr. 2.1 Náčrt vnitřní struktury stavitelných odporových dekád přístroje	18
Obr. 2.2 Ilustrace struktury technologie BMF [5]	19
Obr. 2.3 Změna odporu v závislosti na teplotě [5]	19
Obr. 2.4 Rezistor MF25 [6]	19
Obr. 2.5 Relé řady BT [7]	20
Obr. 2.6 Schéma relé řady BT [7]	20
Obr. 2.7 Schéma relé P-100-1-A-5 [16]	20
Obr. 2.8 Struktura relé [16]	20
Obr. 2.9 Ovládací prvky dekády – čelní panel	21
Obr. 2.10 Zadní panel M632	22
Obr. 2.11 Ukázka nastavení odporu	23
Obr. 2.12 Ukázka nastavení teploměru PT	23
Obr. 2.13 Ukázka nastavení teploměru Nikl	23
Obr. 2.14 Ukázka nastavení user function	24
Obr. 2.15 Ukázka funkce sekvence	24
Obr. 3.1 Program Caliber [13]	27
Obr. 3.2 Blokové schéma pro měření frekvenční závislosti odporu na odporové dekádě M632	28
Obr. 4.1 Program Caliber, stromová struktura karty přístroje Agilent E4980A	30
Obr. 4.2 Caliber, okno Karty přístroje Agilent E4980A, úroveň Přístroj	31
Obr. 4.3 Nastavení makra pro dálkové ovládání přístroje Agilent E4980A	31
Obr. 4.4 Nastavení makra pro měření z přístroje Agilent E4980A	32
Obr. 4.5 Caliber, okno karty přístroje M642, úroveň Funkce	33
Obr. 4.6 Průvodce vytváření procedury	34
Obr. 4.7 Vytvořená procedura v programu Caliber	35
Obr. 4.8 Princip měření čtyřvodičového zapojení RLC metru Agilent E4980A [18]	36
Obr. 4.9 Náhradní schémata měření C_p - R_p a L_s - R_s , RLC metr Agilent E4980A [18]	36
Obr. 4.10 Blokové schéma měřicího systému	37

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Automatická justáž z paralelní části obvodu dekády	25
Tab. 2.2 Přesnost odporu M632	26
Tab. 2.3 Přesnost odporu Trensille 2090.....	26
Tab. 4.1 Frekvenční závislost parazitní paralelní kapacity C_p a paralelního odporu R_p , odporové dekádě M642, odpor R_{1k}	39
Tab. 4.2 Výpočet frekvenční závislosti impedance Z , pro odpor R_{1k} odporové dekádě M642.....	39
Tab. 4.3 Měření frekvenčních závislosti parazitní sériové indukčnosti a sériového odporu, programovatelná odporová dekáda M642, nastavená hodnota odporu 10Ω	43
Tab. 4.4 Výpočet frekvenční závislosti impedance Z , pro odpor R_{1k} odporové dekády M642	44
Tab. 4.5 Změřené referenční hodnoty odporu na programovatelné odporové dekádě M642.....	52
Tab. 4.6 Naměřené hodnoty parazitních kapacit vůči kostře dekády M642.....	52
Tab. 4.7 Přesnost programovatelné odporové dekády M642 ve frekvenční závislosti R_{M642} , referenční hodnota odporu R_{8508A} změřená multimetrem Fluke 8508A.....	53

Úvod

Bakalářská práce se zabývá precizní programovatelnou odporovou dekádou M632 od firmy MEATEST spol. s r.o. V dnešní době, kdy je svět plný elektroniky a posouvání hranic k přesnějším výsledkům měření, je velmi důležité mít zařízení pro testování a vyhodnocování chyb a nejistot širokého spektra elektronických produktů. Odporová dekáda M632 se používá jako přesné referenční měřidlo na úrovni odporových etalonů.

V první kapitole je popsán obecně reálný rezistor, způsoby měření elektrického odporu a způsob zapojení rezistoru různými metodami. Další kapitola se již zabývá konkrétní odporovou dekádou M632, kde jsou popsány a rozebrány jednotlivé druhy rezistoru a relé použitých v odporové dekádě M632. Následně je popis ovládání dekády, funkce přístroje a základní specifikace. Dekádu M632 je možné kalibrovat pomocí tzv. „vlastní kalibrace“ u které se změří 24 etalonů a následně zapíše do přístroje. Dekáda si pomoci těchto hodnot vypočítá velikost odporu s velkou přesností.

V další kapitole práce je popsán program *Caliber*, který se používá pro automatizované měření a kalibrace přístrojů pomocí etalonu. V programu *Caliber* je vytvořena procedura *M642_BP* pro frekvenční měření na precizní odporové dekádě M642. Následně je procedura odzkoušena a odměřena. V závěru práce se zhodnotí měření a určí se, jestli lze precizní programovatelnou dekádu M642 použít jako impedanční zátěž a pro jaké frekvenční pásmo.

1 REÁLNÝ REZISTOR

V této kapitole je popsán reálný rezistor a jeho zapojení. Dále pak základní druhy rezistoru, zvláště ty, které se používají v odporové dekádě M632.

Rezistor patří k základním součástkám v elektrotechnice. V ideálním případě se rezistor projevuje jedinou vlastností – elektrickým odporem. Reálný rezistor je však vyroben z reálného materiálu vykazující elektrický odpor a další specifické vlastnosti.

Nejdůležitější vlastnosti reálného rezistoru:

- Hodnota odporu je závislá na teplotě
- Vykazuje sériovou indukčnost a paralelní kapacitu
- Vykazuje elektrický šum
- Má definovaný svůj maximální ztrátový výkon, při větším zatížení se přehřívá

U rezistoru jsou důležité tyto parametry:

- Velikost odporu
- Maximální příkon ve wattech
- Tolerance hodnoty odporu na rezistoru

1.1 Konstrukce rezistoru

Rezistory jsou vyrobeny z vodiče s požadovanou hodnotou odporu. Odporu dosáhneme použitím látky s požadovanou rezistivitou určenou délkou a průřezem vodiče. Vodič může být ve formě tenké vrstvy nebo drátu. V praxi se nejvíce používají drátové, uhlíkové nebo metalické rezistory a technologie opouzdření se používají THT¹ a SMT².

1.1.1 Drátové rezistory

Drátové rezistory se používají pro větší výkonové zatížení. Dlouhý drát požadovaného odporu je navinutý na izolační tělíska. Povrch drátu se chrání speciálním lakem, tmelem nebo smaltem. Nevýhodou je vysoká indukčnost, která omezuje jeho použití např. ve vysokofrekvenční technice.

¹ THT (Through-hole technology): technologie osazení součástek s drátovými vývody

² SMT (Surface mount technology): technologie osazení součástek na povrch plošného spoje

1.1.2 Metalické rezistory

Metalické rezistory se používají pro větší výkonové zatížení při snížení velikosti pouzdra. Jedná se o rezistory, u nichž je aktivní vrstva tvořena napařením kovového prvku (slitin Ni-Cr a Si-Fe-Cr).

1.1.3 Uhlíkové rezistory

Uhlíkové rezistory jsou tvořeny keramickým nosným tělesem, na kterém je nanесena vrstva krystalického uhlíku. Tento způsob výroby rezistoru je vzhledem k jednoduchosti nejlevnější. Nevýhodou je nízký dovolený ztrátový výkon a omezená stabilita odporu.

1.2 Náhradní schéma

U ideálního rezistoru se nevyskytují žádné parazitní složky – indukčnost, kapacita. V praxi však tento rezistor nelze vyrobit. Na Obr. 1.1 je znázorněn reálný rezistor, kde C_PARAZIT je paralelní parazitní kapacita a L_PARAZIT je sériová parazitní indukčnost.



Obr. 1.1 Náhradní schéma reálného rezistoru

1.3 Způsoby měření elektrického odporu

Elektrický odpor se měří různými metodami. Výběr metody je vhodný podle velikosti měřeného odporu, který se dělí:

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

1.3.1 Ohmová metoda

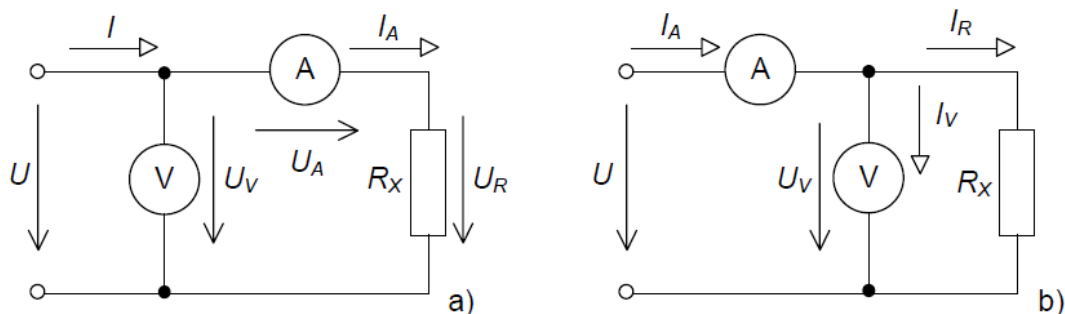
Ohmová metoda je vhodná pro měření lineárních i nelineárních odporů. Hodnotu odporu získáme pomocí Ohmová zákona

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} \quad [\Omega; V, A] \quad (1.1)$$

Kde R_x ... hodnota měřeného odporu

U_x ... napětí protékající odporem
 I_x ... proud protékající odporem

Na Obr. 1.2 jsou znázorněny obvody pro měření odporu ohmovou metodou, které jsou ovlivněny chybami metody. Pro velké odpory je vhodné zapojení podle Obr 1.2 a). Zapojení Obr. 1.2 b) je vhodné pro malé odpory.



Obr. 1.2 Zapojení pro měření odporu Ohmovou metodou [3]

V případě zapojení podle Obr. 1.2 a) je pomocí ampérmetru přesně změřen proud I_A protékající odporem R_x , ale změřený úbytek napětí je navýšen o úbytek napětí na ampérmetru. Toto zapojení je tedy výhodnější tam, kde je úbytek napětí na měřeném odporu R_x podstatně vyšší než úbytek napětí na ampérmetru. Pokud je znám vnitřní odpor ampérmetru lze použít korekci podle rovnice 1.2

$$R_x = \frac{U_V - R_A I_A}{I_A} \quad [\Omega; V, A] \quad (1.2)$$

Kde R_x ... hodnota měřeného odporu
 R_A ... vnitřní odpor ampérmetru
 U_V ... napětí změřené voltmetrem
 I_A ... proud změřený ampérmetrem

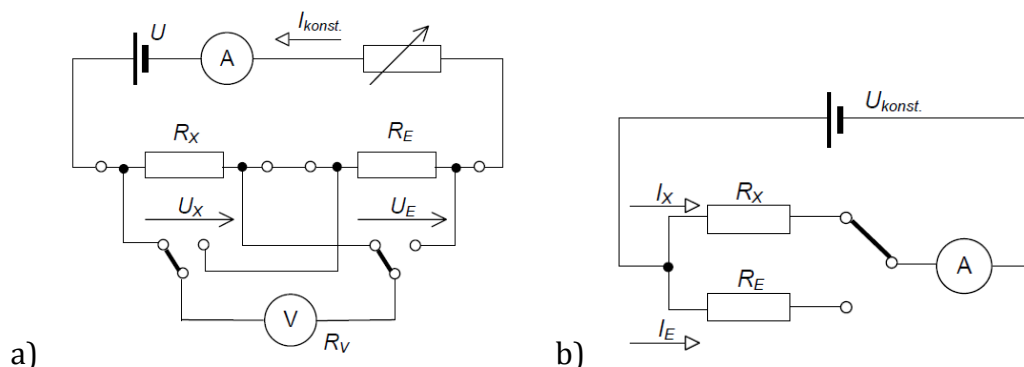
V zapojení z Obr. 1.2 b) je na voltmetru skutečné napětí na měřeném odporu R_x , ale ampérmetr ukazuje součet proudů procházející měřeným odporem i voltmetrem. Toto zapojení je tedy vhodné tam, kde proud procházející měřeným odporem je podstatně vyšší než proud procházející voltmetrem. Jestliže známe odpor voltmetru R_V lze provést korekci podle rovnice 1.3

$$R_x = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \quad [\Omega; V, A] \quad (1.3)$$

Kde R_x ... hodnota měřeného odporu
 R_V ... vnitřní odpor voltmetru
 U_V ... napětí změřené voltmetrem
 I_A ... proud změřený ampérmetrem

1.3.2 Srovnávací metoda

Srovnávací metoda je založena na porovnávání neznámého odporu s odporem známé velikosti. Obr. 1.3 a) zobrazuje sériovou srovnávací metodu, která je založena na úbytku napětí měřeného odporu a na přesném odporu známé velikosti. Na Obr. 1.3 b) je zapojení paralelní srovnávací metodu, která porovnává proud tekoucí dvěma odpory – měřeným a etalonovým.



Obr. 1.3 Zapojení pro měření odporu srovnávací metodou [3]

Rovnice 1.4 pro výpočet neznámého odporu sériovou metodou

$$R_x = R_E \cdot \frac{U_x}{U_E} \quad [\Omega; \Omega, V, V] \quad (1.4)$$

Kde	R_x	... hodnota měřeného odporu
	R_E	... hodnota odporu etalonu
	U_x	... napětí protékající měřeným odporem
	U_E	... napětí protékající etalonovým odporem

Rovnice 3 pro výpočet neznámého odporu sériovou metodou

$$R_x = R_E \cdot \frac{I_E}{I_x} \quad [\Omega; \Omega, A] \quad (1.5)$$

Kde	R_x	... hodnota měřeného odporu
	R_E	... hodnota odporu etalonu
	I_x	... proud protékající měřeným odporem
	I_E	... proud protékající etalonovým odporem

1.4 Způsoby zapojení rezistoru

Při měření obvodu elektrického odporu dvou vodičových metod (přímé, substituční, srovnávací) je měřená hodnota ovlivněna odporem přívodních vodičů,

termoelektrickým napětím a přechodovým odporem. Tyto chyby se vyskytují převážně u odporů méně než 1Ω . V omezené míře to platí i pro řadu desítek až stovek ohmů.

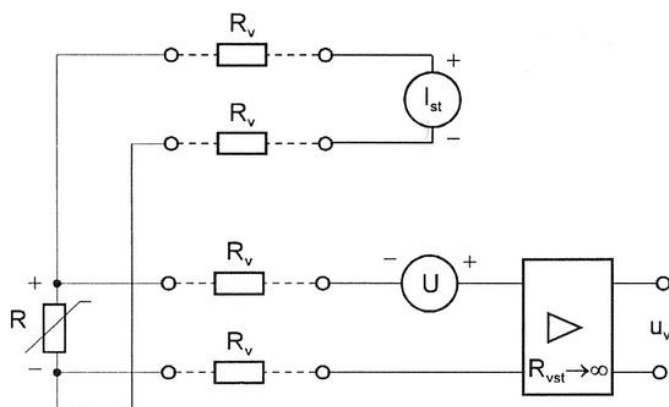
Přechodový odpor nastává u rozebíratelného spojení dvou vodičů. Velikost odporu závisí na tlaku působící na svorku, čistotě kontaktů a dalších vlivů. Odpor přívodních vodičů záleží hlavně na délce a typu kabelů.

Pro omezení rušivých vlivů použijeme čtyřvodičovou metodu, její princip je znázorněn na Obr. 1.4. Konstantní proud I_{st} ze stabilizovaného zdroje proudu vytvoří na R úbytek napětí úměrný jeho odporu. Při uvedených dvou podmínkách nezávisí napětí na změnách odporu R_v . Tato metoda tedy eliminuje vlivy odporu přívodních vodičů a přechodový odpor. Je vhodná pro měření malých odporů a proto je k dispozici čtyřvodičové zapojení v programovatelné odporové dekádě M632.

$$\Delta U = I_{st} \cdot R \quad [V; I, \Omega] \quad (1.6)$$

Kde

ΔU	... napětí na měřeném rezistoru
R	... hodnota odporu rezistoru (odporový teploměr)
I_x	... proud ze stabilizovaného zdroje



Obr. 1.4 Čtyřvodičové zapojení odporového teploměru [4]

2 PROGRAMOVATELNÁ ODPOROVÁ DEKÁDA M632

V této kapitole je popsána programovatelná odporová dekáda M632 od firmy MEATEST spol. s r.o. Dále budou vysvětleny a popsány způsoby zapojení vnitřní struktury stavitelných odporových dekád přístroje a jiných důležitých součástek.

Přesná odporová dekáda M632 je vhodná k automatizované simulaci odporových čidel tlaku, teploty, síly, dráhy a dalších. Na rozdíl od ostatních dekád, M632 eliminuje nestabilitu nulové hodnoty odporu R_0 .

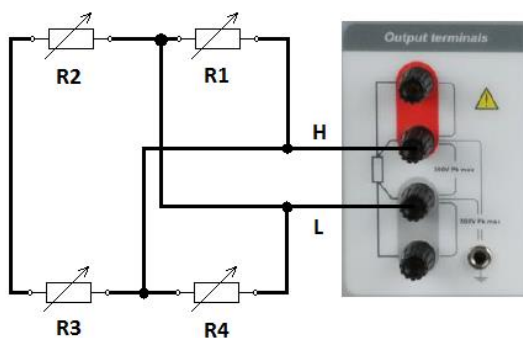
V této odporové dekádě jsou umístěny platinové a niklové čidla teploty, pro přímé měření odporu v závislosti na zadané teplotě. Odpor je generován pomocí precizních relé spínajících kombinace fyzických rezistorů. Programovatelná odporová dekáda M632 je důmyslný měřicí přístroj s vlastní rekalisační procedurou, která bez mechanického zásahu dokáže opravit odchylku vnitřních etalonů.

Odporová dekáda M632 je vybavena standardně sériovým rozhraním RS232 a podle specifikace zákazníka volitelně standardem IEEE488, USB a Ethernet, pro dálkové ovládání. Je proto vhodná pro automatizované testovací procedury.

Programovatelná odporová dekáda M632 se používá jako laboratorní zařízení, případně pro výrobní linky s požadavkem vysoké přesnosti. Mají o ní zájem akreditované laboratoře jako etalon odporu a odporových teplotních snímačů platiny a niklu.

2.1 Zapojení dekády M632

Principiální zapojení vnitřní měřicí sekce odporové dekády M632 je serio-paralelní, viz Obr. 2.1. Pod označením rezistorů R_1 , R_2 a R_4 se nachází paralelní zapojení několika rezistorů. R_3 pak prezentuje sériové zapojení rezistorů. Pro dosažení velkých hodnot odporů je použita sériová část tj. R_3 , malých hodnot odporu se dosáhne paralelní kombinací z R_1 , R_2 a R_4 .



Obr. 2.1 Náčrt vnitřní struktury stavitelných odporových dekád přístroje

Rozpis rezistorů:

- $R1$ – paralelní část s hodnotami $30\ \Omega$, $60\ \Omega$, $120\ \Omega$, $237\ \Omega$.
- $R2$ – paralelní část s hodnotami $464\ \Omega$ – $3k5\ \Omega$.
- $R3$ – sériová část $1\ k\Omega$ – $1,2\ M\Omega$
- $R4$ – paralelní část s hodnotami $2\ \Omega$ - $16\ \Omega$, pro velmi jemné dostavení.

Pro spínání jednotlivých rezistorů jsou použity tyto relé:

- BT05-2A66 firmy Meder
- BT05-2A71 firmy Meder
- P100-1-A-5/2D firmy Pickering

2.2 Popis součástek dekády M632

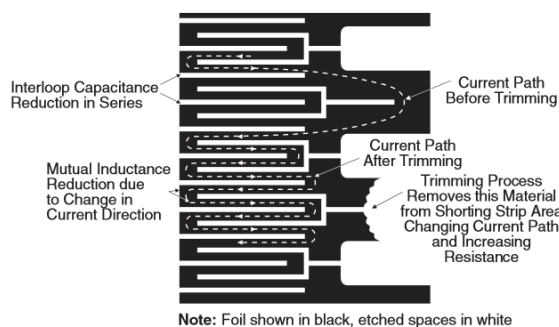
Tato kapitola se zabývá popisem nejdůležitějších součástí odporové dekády M632 jako jsou rezistory a relé, které zajistí přesné měření hodnot odporu na vstupních svorkách.

Rezistor *S102L* firmy *Vishay*

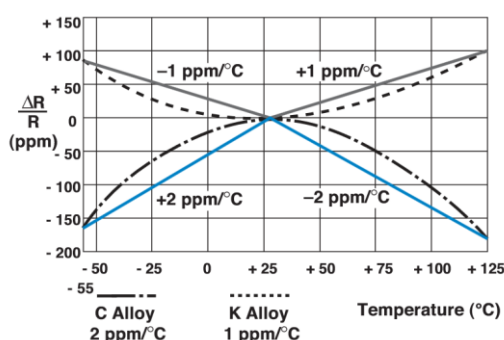
BMF³ technologie je významným zástupcem mezi ostatními technologiemi měření odporu. Využívá se pro aplikace, které vyžadují vysokou přesnost a stabilitu. Tato technologie byla vyvinuta firmou *Vishay*.

Rezistory speciálně upraveny jsou hermeticky uzavřeny, naplněny olejem a obal tvoří kovová fólie, Obr. 2.2 znázorňuje strukturu rezistoru. Odporový prvek je z karbidu, který zaručuje žádoucí vlastnosti materiálu pro vysokou stabilitu a nízkou hodnotu šumu. Tyto rezistory představují jedinečnou kombinaci charakteristik ze všech technologií výroby rezistoru. Obr. 2.3 zobrazuje změnu odporu rezistoru v závislosti na teplotě.

³ BMF (Bulk metal foil): technologie fóliových rezistoru



Obr. 2.2 Ilustrace struktury technologie BMF [5]



Obr. 2.3 Změna odporu v závislosti na teplotě [5]

Rezistor MF25 firmy MULTICOMP

Běžně používané rezistory MF25 jsou vyrobeny ze slitiny niklu a chromu. Tolerance odporu je $\pm 1\%$ a teplotní koeficient je $\pm 50 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$. Ve srovnání s rezistorem S102L, kde tolerance odporu je $\pm 0.005\%$ a teplotní koeficient je $\pm 1 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$, zřetelně vysvětluje použití S102L pro malé odpory a pro větší odpory použití rezistoru MF25.



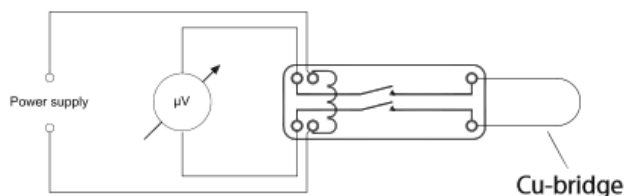
Obr. 2.4 Rezistor MF25 [6]

Relé BT05-2A66 a BT05-2A71 firmy Meder

Relé řady BT jsou nízko tepelné relé s dvěma kontakty, mající teplotní napěťový offset $1 \mu\text{V}$ se 100% pracovním cyklem. Velmi nízké teplotní napětí je dosaženo optimalizovanou rovnováhou mezi teplotou jazýčkových spínačů a minimálním výkonem cívky. To umožňuje aby, relé přepínalo signály na úrovni μV . Na Obr. 2.6 je znázorněno schéma relé řady BT.



Obr. 2.5 Relé řady BT [7]

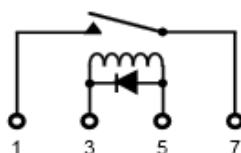


Obr. 2.6 Schéma relé řady BT [7]

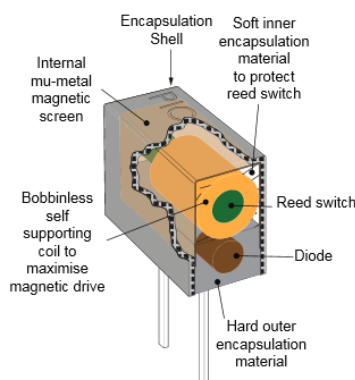
Relé *P100-1-A-5/2D* firmy *Pickering*

Relé *P1001A5* jsou primárně určeny pro přímé řízení z napěťových zdrojů typu CMOS 4000B, NMOS logic nebo obdobných malých napěťových zdrojů.

Na Obr. 2.7 je schéma relátka *Pickering* a Obr. 2.8 znázorňuje strukturu pro představu. Velmi nízká úroveň tepelné EMF⁴ asi 1 μV . V suchém prostředí je použitelná pro aplikace získávání dat nebo v termoelektrických spínačích. Vnitřní magnetické stínění zabraňuje účinkům magnetické interakce mezi relé.



Obr. 2.7 Schéma relé P-100-1-A-5 [16]

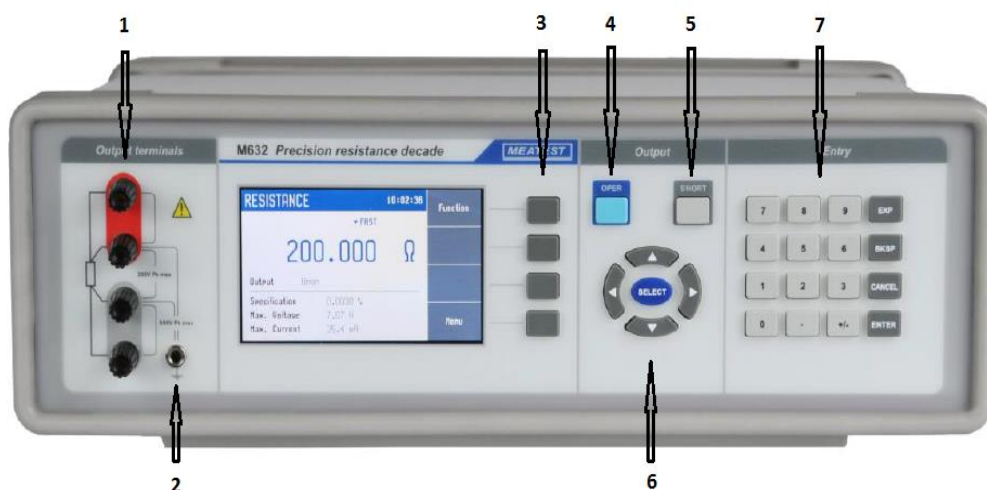


Obr. 2.8 Struktura relé [16]

⁴ EMF (Electromotive force): Elektromotorické napětí je napětí vyvinuté zdrojem elektrické energie

2.3 Popis dekády M632

Čelní panel (Obr. 2.9) precizní programovatelné odporové dekády M632 je rozčleněn na dílčí sekce, které umožňují ovládání přístroje. *Output terminals* pro připojení měřicího obvodu k přístroji. Střed dekády M632 zobrazuje na displeji nastavení dekády. Sekcí *Output* se lze pohybovat kurzorem po displeji a ovládat výstupní svorky. Sekce *Entry* obsahuje numerickou klávesnici.



Obr. 2.9 Ovládací prvky dekády – čelní panel

1. Výstupní svorky (*Output terminals*)

Měřící obvod lze připojit k přístroji pomocí dvou, tří nebo čtyř vodičů. Oba póly jsou plovoucí až do 500Vpk proti zemní zdiřce a skříni dekády.

2. Zemní zdiřka

Ochranná zem je připojena ke kovové skříni přístroje.

3. Displejové klávesy

Čtyři klávesy vpravo od displeje ovládají funkce označené na displeji.

4. Tlačítko výstupu **OPER**

OPER umožňuje připojení/odpojení vybrané hodnoty na výstupní svorky.

5. Tlačítko zkratu **SHORT**

Stiskem tlačítka SHORT se výstup zkratuje namísto připojení nastaveného odporu. Tlačítkem OPER se zkrat přivede na výstup.

6. Kurzorové klávesy

Pomocí kurzorových kláves lze pohybovat kurzorem po displeji.

7. Numerická klávesnice

Numerickou klávesnicí se zadávají číselné hodnoty na displej. Klávesou ENTER se potvrzuje zadaná hodnota, CANCEL hodnotu stornuje.



Obr. 2.10 Zadní panel M632

Obr 2.10 zobrazuje zadní panel programovatelné odporové dekády M632. V základu dekáda obsahuje rozhraní RS232 a volitelně LAN, USB, IEEE488 a síťový přívod s pojistkou a spínačem.

2.4 Funkce přístroje

Odporová dekáda disponuje řadou funkcí. Má čtyři způsoby změny hodnoty odporu, tj. hodnota $R1$ se změní na hodnotu $R2$ v intervalu T .

FAST

- Nejrychlejší přepínací mód
- $T = 400\mu s$
- Odpor během přechodu není definován

SMOOTH

- Mód s minimální změnou odporu (hladký průběh)
- $T = 1ms$
- Odpor během T se nikdy nedostane z intervalu $(R1, R2)$

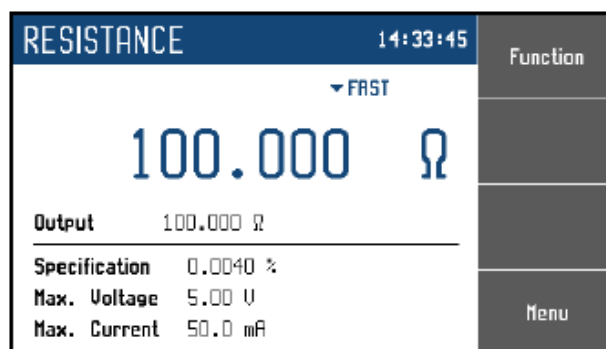
VIA OPEN

- Dvou krokový přepínací mód. $R1$ se přepne na OPEN a potom na $R2$.
- $T = 1ms$

VIA SHORT

- Dvou krokový přepínací mód. $R1$ se přepne na SHORT a potom na $R2$
- $T = 1ms$

Funkce měření odporu Obr. 2.11 – přímé zadání hodnoty odporu. Rozsah odporu je od 1 Ω do 1.2 M Ω . Tato funkce podporuje všechny čtyři přepínací módy (FAST, SMOOTH, VIA OPEN, VIA SHORT).



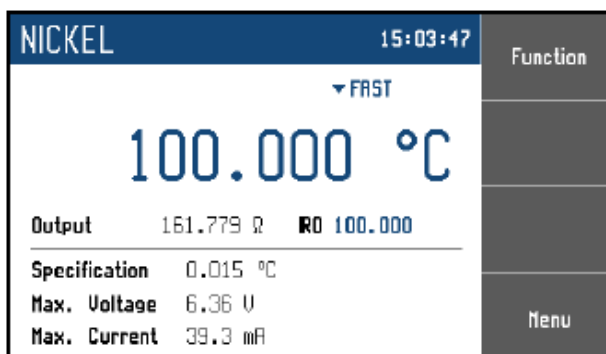
Obr. 2.11 Ukázka nastavení odporu

Funkce měření platinovým teploměrem Obr. 2.12 – přímé zadání teploty simulovaného na platinovém teploměru. Rozsah teploty je od -200 $^{\circ}\text{C}$ do 850 $^{\circ}\text{C}$. Hodnota R0 může být v rozmezí 10 Ω až 20 k Ω . Teploměry lze simulovat podle standardů PT385(68), PT385 (90), PT385 (90), PT3926, PT User. Tato funkce podporuje všechny čtyři přepínací módy.



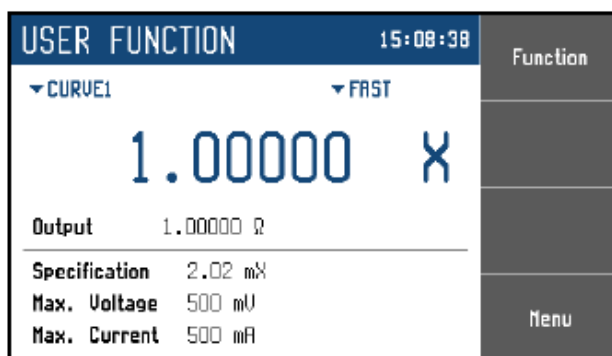
Obr. 2.12 Ukázka nastavení teploměru PT

Funkce niklový teploměr Obr. 2.13 – přímé zadání teploty simulovaného na niklovém teploměru. Rozsah teploty je v intervalu -60 $^{\circ}\text{C}$ až 300 $^{\circ}\text{C}$. Hodnota odporu R0 je od 10 Ω až 20 k Ω . Funkce podporuje všechny čtyři přepínací módy.



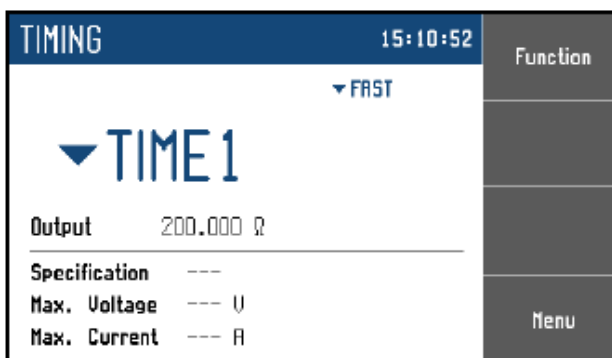
Obr. 2.13 Ukázka nastavení teploměru Nikl

Funkce průběhu definovaná uživatelem Obr. 2.14 – nabízí vlastní simulaci konverzní křivky (jedné nebo více). Hodnoty mezi body jsou lineárně interpolovány. Funkce podporuje všechny čtyři přepínací módy. Hodnoty a funkční průběh je definován uživatelem v podobě tabulky, ke které je přiřazena hodnota odporu. Dekáda podporuje maximálně 10 tabulek, v nichž může být 8 hodnot. Při menším počtu tabulek je možné navyšovat počet hodnot. Zadávání tabulky je možné i přes dálkovou sběrnici.



Obr. 2.14 Ukázka nastavení user function

Funkce sekvence Obr. 2.15 – nabízí vlastní simulaci proměnného odporu podle časové tabulky. Lze definovat více sekvencí. Funkce podporuje všechny čtyři přepínací módy. Uživatel si může zadat maximálně 10 tabulek se čtyřmi časovými hodnotami. Při menším počtu tabulek je možné navýšit počet časových hodnot. Tabulky lze zadávat přes dálkovou sběrnici.



Obr. 2.15 Ukázka funkce sekvence

2.5 Kalibrace dekády

Dekáda M632 má funkci pro kalibraci jednotlivých odporových etalonů. Vlastní kalibrace se provede změřením 24 etalonů a následné zapsání jejich hodnot do přístroje. V Tab. 2.1 je záznam z automatické justáže. Jedná se o změření přímých hodnot odporových segmentů (etalonů) a následné uložení do dekády M632. Na základě těchto uložených hodnot software v přístroji vypočítá potřebnou kombinaci a sepne kontakty relé pro příslušné segmenty.

Tab. 2.1 Automatická justáž z paralelní části obvodu dekády

Kalibrační bod	Výsledek	Kalibrační bod	Výsledek
1,94 Ω	1,94382 Ω	1780,00 Ω	1780,080 Ω
3,86 Ω	3,87686 Ω	3480,00 Ω	3480,210 Ω
7,71 Ω	7,72522 Ω	6870,00 Ω	6868,350 Ω
15,40 Ω	15,41430 Ω	13,50 k Ω	13,501 k Ω
30,60 Ω	30,51270 Ω	26,60 k Ω	26,573 k Ω
60,70 Ω	60,41490 Ω	52,20 k Ω	52,169 k Ω
120,00 Ω	120,027 Ω	103,00 k Ω	102,635 k Ω
237,00 Ω	237,066 Ω	202,00 k Ω	201,804 k Ω
464,00 Ω	464,030 Ω	398,00 k Ω	398,000 k Ω
909,00 Ω	909,145 Ω	780,00 k Ω	780,671 k Ω

Po kalibraci je důležité ověřit správnost přesnosti dekády měřičem odporu s třídou přesnosti 0,001% s rozsahem 1 až 1,2 M Ω (např. 8½ místný multimetr typu Fluke 8508A). Kontrola se provádí v laboratoři při teplotě 23 ± 3 °C. Měřič se připojí ke svorkám R4W dekády. Skříň dekády by měla být uzemněna nebo připojena ke svorce Lo na kontrolním přístroji.

2.6 Specifikace dekády M632

Rozsah odporu	1 Ω – 1,2 M Ω
Rozsah teploty Pt	-200,000°C – 850,000°C
Rozsah teploty Ni	-60,000°C – 300,000°C
Simulovaná teplotní čidla	Pt10 až Pt20000; Ni10 až Ni20000
Rozlišení	od 0.01 m Ω
Teplotní koeficient odporu	< 1 ppm/°C
Maximální výkon	0.25 W
Maximální napětí	200 Vpk
Vzdálený přístup	RS232 (IEEE488, USB, Ethernet na objednávku)
Referenční rozsah teplot	+20 °C ... +26 °C
Pracovní rozsah teplot	+5 °C ... +40 °C

Tab. 2.2 Přesnost odporu M632

Rozsah / Rozlišení	Přesnost
1.000 00 Ω - 2.000 00 Ω	0.002 % $\pm$ 2 m Ω
2.000 1 Ω - 20.000 0 Ω	
20.001 Ω - 200.00 Ω	
200.01 Ω - 2000.0 Ω	0.003 %
2.000 1 k Ω - 20.000 0 k Ω	
20.001 k Ω - 200.000 k Ω	
200.01 k Ω - 1200.00 k Ω	0.005 %

Srovnání dekády M632 s konkurencí

Na světě není mnoho firem, které vyrábějí programovatelné odporové dekády. Známé jsou firmy *Transmille* a *Sonel*.

Anglická firma *Transmille* se zabývá kalibračními přístroji a softwarem. Vyrábějí programovatelnou odporovou dekádu 2090. Polská firma *Sonel* mimo jiné vyrábí tři druhy programovatelných odporových dekád. Rozsah odporových dekád se pohybuje v rozmezí 50 k Ω až 5 T Ω .

Programovatelná odporová dekáda 2090 Transmille

Rozsah odporu je od 0,1 Ω do 10 k Ω . V Tab. 2.3 je rozepsána přesnost odporu na jednotlivých rozsazích.

Tab. 2.3 Přesnost odporu Transmille 2090

Rozsah	Přesnost
0,1 Ω	5 % $\pm$ 35 m Ω
1 Ω	5 % $\pm$ 35 m Ω
10 Ω	0.5 %
100 Ω	0.01 %
1 k Ω	0.01 %
10 k Ω	0.01 %

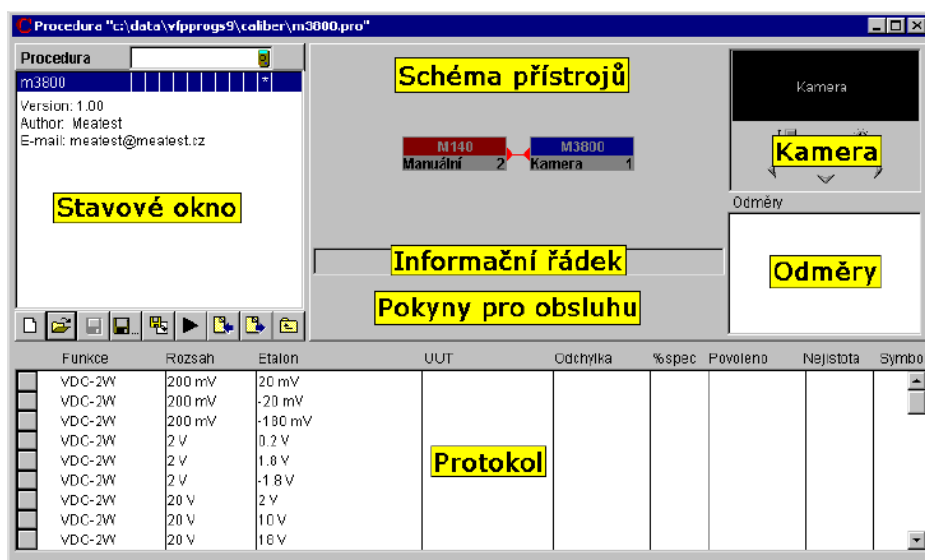
V Tab. 2.2 a Tab. 2.3 jsou patrné rozdíly v přesnosti rozsahu odporu. Dekáda 2090 má rozsah od 0.1 Ω (oproti M632 1 Ω), ale přesnost dekády M632 dosahuje o řád lepších výsledků. Maximální rozsah dekády 2090 je poloviční. Rozhraní pro komunikaci nabízí pouze RS232 s USB adaptérem. Maximální proud protékající dekádou 2090 je 1A - M632 0.5A. Dekáda 2090 má možnost pouze dvou vodičového připojení obvodu.

3 NÁVRH MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI DEKÁDY M632

V této kapitole je popsán příklad v programu *Caliber* pro automatizované měření a kalibrace přístrojů a teoretický návrh měření frekvenční závislosti programovatelné odporové dekády M632.

3.1 Program *Caliber*

Caliber je program určený k automatizovaným kalibračním přístrojů pomocí etalonu. Program je vyroben na počítačovou platformu Windows 2000/XP/Vista/7.



Obr. 3.1 Program Caliber [13]

Měřicí přístroje mohou být ovládány automatizovaně (počítačem) nebo manuálně. Pro komunikaci s počítačem lze použít sběrnice RS232, IEEE488, případně sběrnici podporující standart VISA.

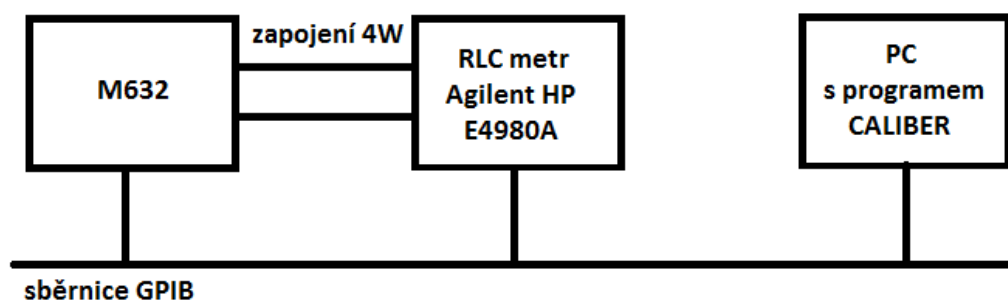
Výstupem programu je provedení kalibrace a tabulka naměřených a vypočtených hodnot.

Kalibrace se provádí v programu *Caliber* modulem „Procedury“, podle kterého je vykonán kalibrační proces. Kalibrační procedura je seznam kalibračních bodů, seřazených v pořadí v jakém budou při kalibraci prováděny.

Ke každému přístroji musí existovat karta přístroje. K tomu slouží modul „Karty přístrojů“, kterým se mohou vytvářet a editovat. Modul obsahuje specifikace přístroje, rozsahy, komunikaci nebo popis funkcí.

3.2 Teoretický návrh měření

Zapojení programovatelné odporové dekády M632 a RLC metru Agilent HP E4980A je zobrazeno na Obr. 3.2. Dekáda M632 se zapojí s RLC metrem Agilent E4980 čtyřvodičově přímou metodou pomocí RLC mostu. Oba přístroje se připojí na sběrnici GPIB, která je napojena k PC. V programu *Caliber* se spustí vytvořená procedura, která bude postupně nastavovat hodnoty odporu na dekádě M632 a z RLC metru Agilent E4980 zapisovat reálně naměřené hodnoty odporu. Program *Caliber* následně vypíše protokol naměřených hodnot a automaticky spustí kalibraci odporové dekády M632.



Obr. 3.2 Blokové schéma pro měření frekvenční závislosti odporu na odporové dekádě M632

Při měření frekvenční závislosti hodnot stavitelných odporů R se budou projevovat jejich kapacitní a induktivní parazitní složky. Obecně se u nízkých frekvencí projevuje parazitní indukčnost, naopak při vyšších frekvencích se projeví parazitní kapacita.

Pro každou frekvenci se proměří všechny uvedené hodnoty odporu. Měření bude ve frekvenčním rozmezí 30Hz – 100kHz a rozsah odporu je od 1 Ω – 1,2 M Ω .

Výstupem měření bude graf:

- x-osa frekvence 30 Hz – 100 kHz
- y-osa R_p a C_p , R_s a L_s

V praxi se měří pomocí RLC metru měřené páry $|Z| + \varphi$, $L_s + R_s$, $R_p + C_p$

kde:

$ Z $	... podíl efektivních hodnot napětí a proudu
φ	... fáze $ Z $
L_s	... sériová indukčnost rezistoru
R_s	... sériová hodnota rezistoru
R_p	... paralelní hodnota rezistoru
C_p	... paralelní kapacita rezistoru

Měření lze vyjádřit více kombinací například $L_P + R_P$, ale pro můj návrh měření budou stačit výše zmíněné. Z návrhu bychom měli zobrazit frekvenční závislost, ze které bude vyplývat:

- malé hodnoty rezistoru budou více ovlivněny parazitní indukčností
- velké hodnoty rezistoru budou více ovlivněny parazitní kapacitou

4 REALIZACE MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI DEKÁDY M642

Tato kapitola se zabývá praktickou realizací měření frekvenční závislosti programovatelné odporové dekády M642. V kapitole číslo 3 je návrh měření na programovatelné odporové dekádě M632, ale firma MEATEST spol. s r.o. měla požadavek na měření frekvenční závislosti na typu dekády M642. Vytvořená procedura *M642_BP* lze s malými úpravami v programu *Caliber* jednoduše aplikovat na podobné typy této dekády.

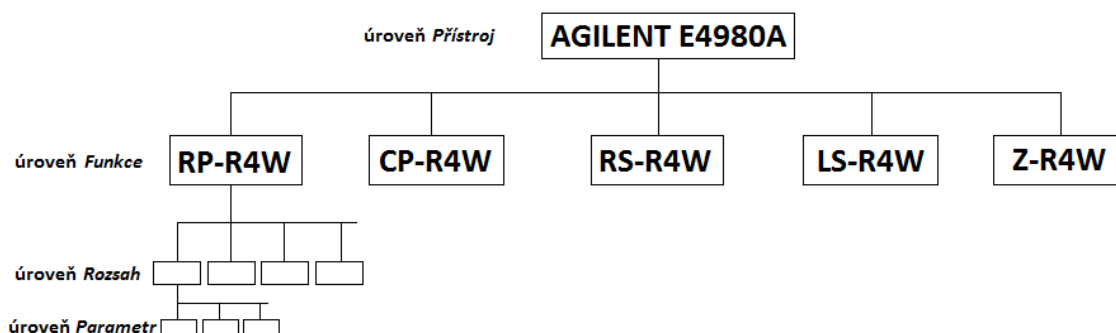
4.1 Úprava karty přístrojů

Firma MEATEST spol. s r.o. má svou databázi karet přístrojů, které je možné používat. Každá karta musí být pak upravena pro dané měření.

4.1.1 Karta přístroje Agilent E4980A

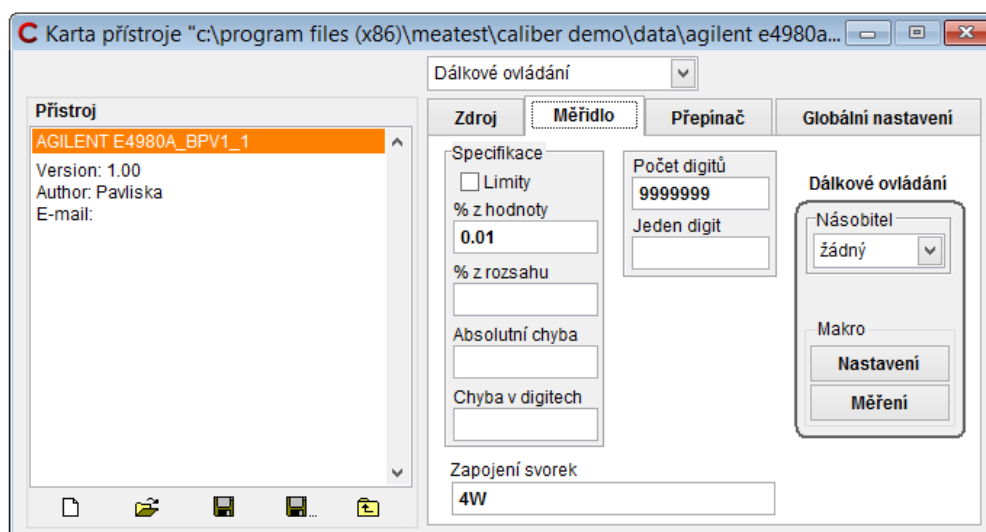
V programu *Caliber* se zvolí funkce *karty přístrojů* -> *otevřít*, otevře se seznam importovaných přístrojů. Pro úpravu karty přístroje se vybere Agilent E4980A. Na Obr. 4.1 je znázorněna stromová struktura pro pohyb v podokně *Přístroj* z Obr. 4.2. Seznam funkcí a jejich popis:

- CP-R4W měření paralelní kapacity, primární parametr
- RP-R4W měření paralelního odporu, sekundární parametr
- LS-R4W měření sériové indukčnosti, primární parametr
- RS-R4W měření sériového odporu, sekundární parametr
- Z-R4W měření absolutní hodnoty impedance, primární parametr



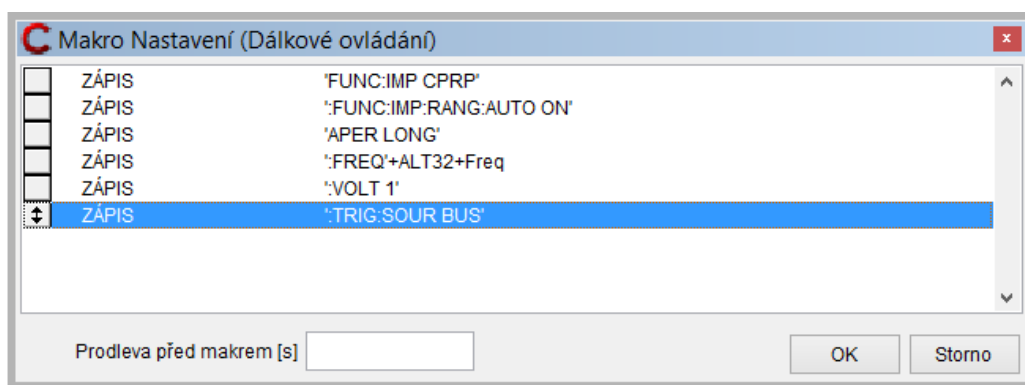
Obr. 4.1 Program Caliber, stromová struktura karty přístroje Agilent E4980A

V pravé části podokna je několik záložek, RLC metr Agilent E4980A se použije jako etalonový měřicí přístroj, upraví se jen záložka *Měřidlo*.



Obr. 4.2 Caliber, okno Karty přístroje Agilent E4980A, úroveň Přístroj

V záložce *Měřidlo* se musí upravit makro pro dálkové ovládání. Na Obr. 4.3 vpravo dáme *Nastavení*.



Obr. 4.3 Nastavení makra pro dálkové ovládání přístroje Agilent E4980A

Na Obr. 4.3 je dialogové okno programu *Caliber* se záložkou *Nastavení* makra pro spuštění funkcí a nastavení různých hodnot pro dálkovou komunikaci mezi PC a Měřidlem. V této sekci se používají příkazy SCPI.

Popis kroku makra *Nastavení* z Obr. 4.3:

ZÁPIS 'FUNC:IMP CPRP'

Na přístroj se zapíše funkce pro nastavení měření impedance. Primární parametr měření C_p – paralelně zapojení kapacita,

sekundární parametr R_p – paralelně zapojený rezistor k parazitní kapacitě.

ZÁPIS ‘:FUNC:IMP:RANG:AUTO ON’

Na přístroj se zapíše funkce pro automatické nastavení rozsahu impedančního měření.

ZÁPIS ‘APER LONG’

Na přístroj se zapíše spuštění funkce dlouhého měřicího času a rychlosti průměrování.

ZÁPIS ‘:FREQ'+ALT32+'Freq’

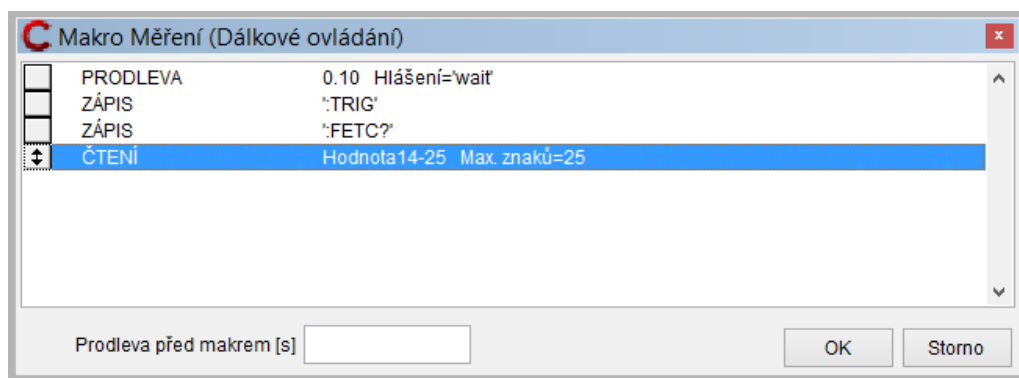
Poslání hodnoty frekvence pro nastavení RLC metru.

ZÁPIS ‘:VOLT 1’

Zápis hodnoty 1 volt pro nastavení RLC metru

ZÁPIS ‘:TRIG:SOUR BUS’

Nastavení spuštění sběrnici, v tomto případě GPIB.



Obr. 4.4 Nastavení makra pro měření z přístroje Agilent E4980A

Popis kroku makra *Měření* z Obr. 4.4:

PRODLEVA 0,10 Hlášení='wait'

Konstanta *PRODLEVA* zařídí časové zpoždění 0,1s.

ZÁPIS ‘:TRIG’

Spuštění.

ZÁPIS ‘:FETC?’

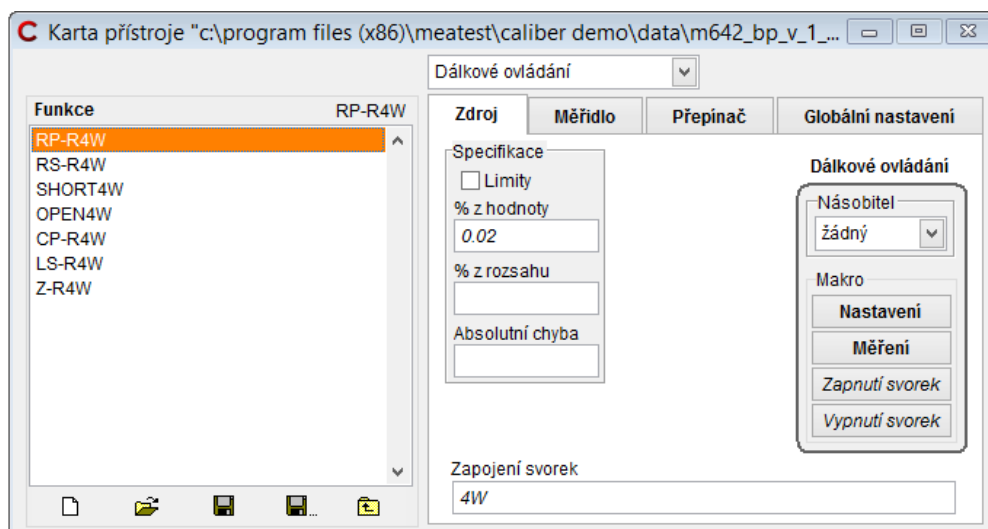
ČTENÍ Hodnota14-25 Max. znaku=25

Čtení znaku z Agilent E4980A. Přístroj měří 2 parametry. Zde se měří R_p – paralelní odpor, který je jako sekundární parametr, proto se musí nastavit čtení na hodnotě 14-25. Pro primární čtení prvku hodnota odpovídá 0-12.

4.1.2 Karta přístroje M642

Karta přístroje programovatelné odporové dekády M642 se upraví podobným způsobem jako karta přístroje RLC metru Agilent E4980A. V programu *Caliber* se zvolí funkce karty přístrojů -> otevřít a vybere se ze seznamu přístroj M642.

Programovatelná odporová dekáda M642 zastupuje zdroj měření, proto se zvolí záložka *Zdroj* (Obr. 4.5) a doplní se specifikace přístroje. V levé části okna na Obr. 4.5 se po rozkliknutí přístroje objeví podokno *Funkce*. Zde musí být stejná funkce, jako jsou v kartě přístroje Agilent E4980A a které se používají v proceduře měření.



Obr. 4.5 Caliber, okno karty přístroje M642, úroveň Funkce

Popis funkcí pro dálkové ovládání pomocí maker⁵:

Nastavení

ZÁPIS 'RES'+ALT32+Hodnota
Nastavení rezistoru na přístroji M642

Měření

ZÁPIS 'RES? '
Příkaz pro zaslání odpovědi.
ČTENÍ Hodnota
Čtení příchozí hodnoty.

Zapnutí svorek

ZÁPIS 'OUTP:SHORT OFF '
ZÁPIS 'OUTP ON '
PRODLEVA 1.00s

Vypnutí svorek

ZÁPIS 'OUTP OFF '

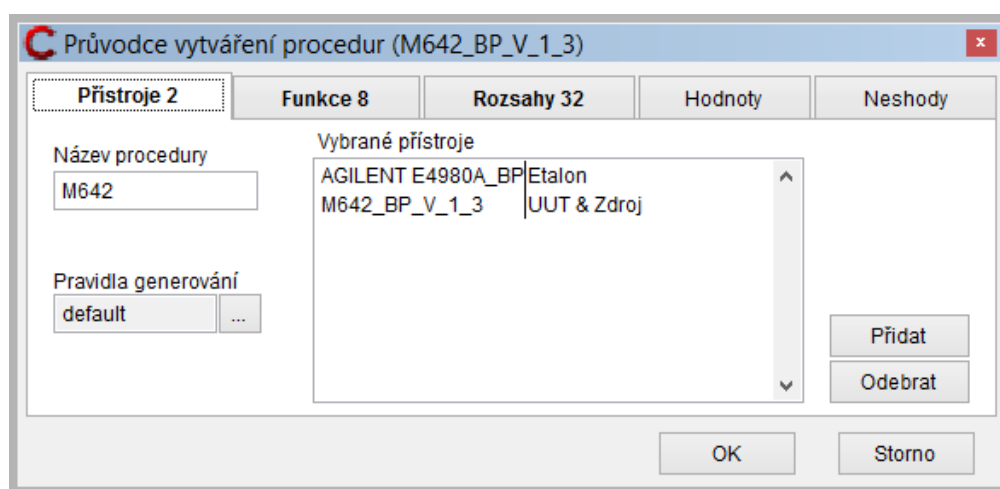
⁵ Makro – zde se pod makrem skrývají SCPI příkazy pro komunikaci přes sběrnici

4.2 Vytvoření procedury *M642_BP* v programu *Caliber*

Měřicí procedury lze zadat pomocí *Průvodce vytváření procedur*, viz Obr. 4.6. V první řadě se musí vybrat přístroje, které se budou v proceduře používat. Při přidání přístroje se nadefinuje postavení přístroje, jako jsou etalon, zdroj, UTT⁶, převodník nebo kombinace mezi sebou. Dále se nastaví sběrnice pro nastavení přístroje a sběrnice pro přenos dat.

RLC metr Agilent E4980A je vybrán jako etalon a sběrnici používá GPIB s adresou 15. Programovatelná odporová dekáda M642 je zde použita jako UTT & Zdroj, a to znamená, že se dekáda bere jako měřený přístroj. Odporová dekáda M642 je zapojena na sběrnici RS232. V předchozí kapitole je v návrhu sběrnice GPIB, ale pro měření byla k dispozici dekáda pouze se sběrní RS232.

Záložka *Funkce* nabízí 8 funkcí, které obsahují oba přístroje. Záložka *Rozsahy* obsahuje všechny rozsahy, které jsou nadefinované, i se specifikacemi, v kartě přístroje. Dále se zadají hodnoty pro proměření vybraných rezistorů. V záložce *Neshody* se mohou zobrazovat různé konflikty, například pokud zadaná hodnota je mimo rozsah některého z přístrojů.



Obr. 4.6 Průvodce vytváření procedury

Po stisknutí tlačítka *Ok* se vytvoří daná procedura. Nyní je potřeba zkontrolovat zda vybrané hodnoty jsou správně zadané a jestli přístroje komunikují.

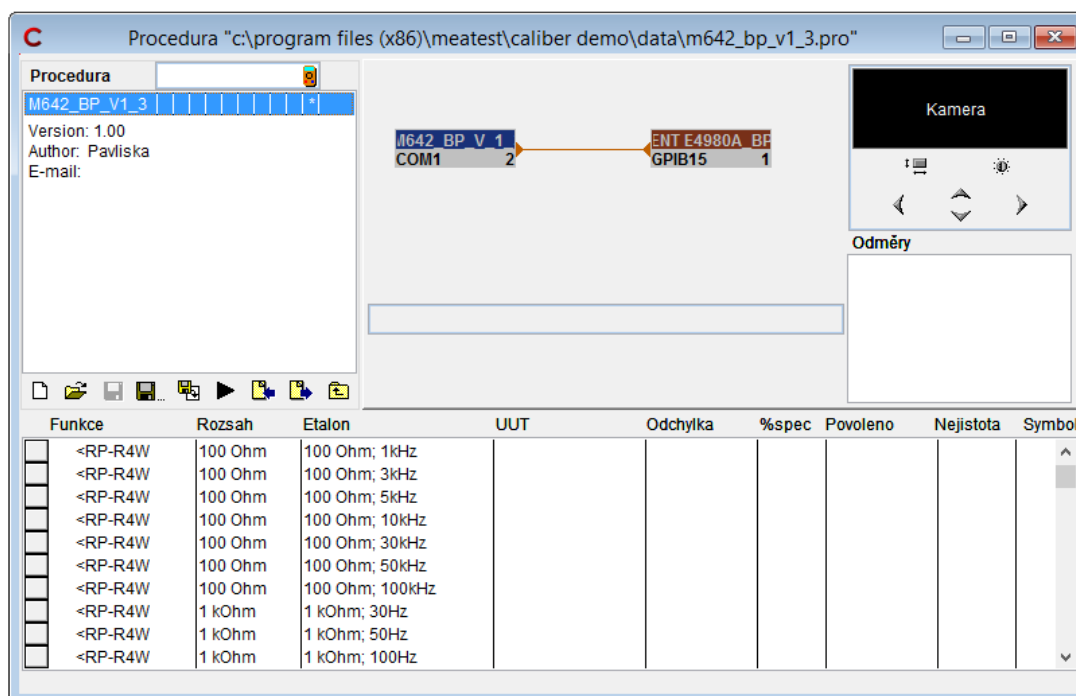
Na Obr. 4.7 je znázorněna vytvořená procedura *M642_BP*. Nastavení sběrnice RS232 lze upravit ve schématu na přístroji M642 (pravým tlačítkem).

Nastavení RS232:

Port	COM1
------	------

⁶ Unit Under Test – kalibrovaný přístroj

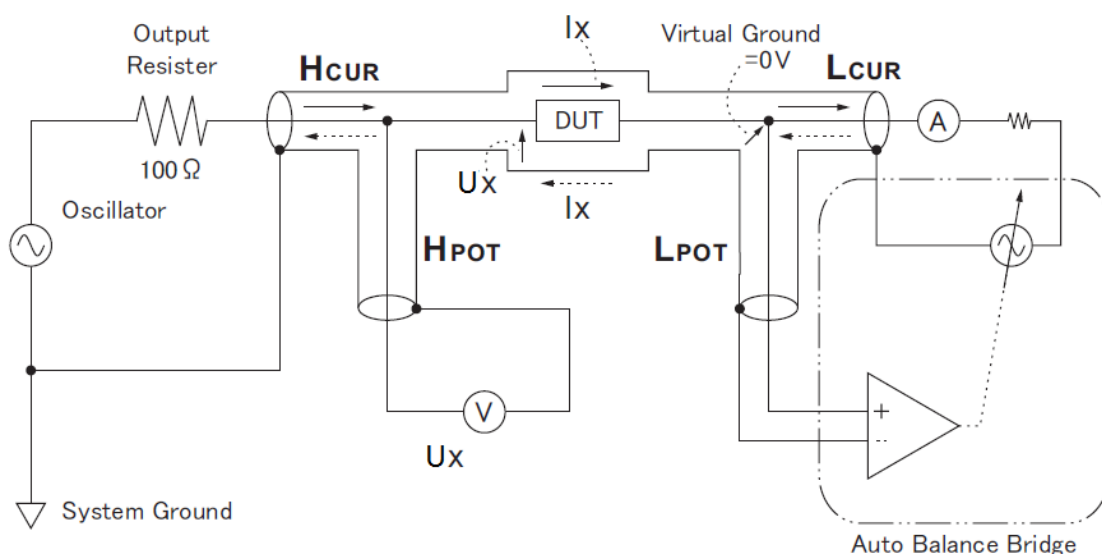
Rychlost	9600
Parita	žádná
Datových bitů	8
Stop bitů	1
Xon/Xoff	povoleno
DTR	Nastavit (+12V)
RST	Zrušit (-12V)



Obr. 4.7 Vytvořená procedura v programu Caliber

4.3 Měřící metoda RLC metru Agilent E4980A

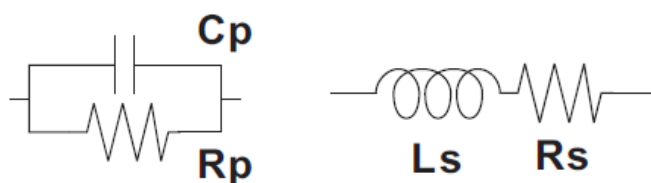
RLC metr Agilent E4980A využívá čtyřvodičovou konfiguraci měření, které umožňuje stabilní a přesné měření a zároveň se odstraňuje negativní vlivy. Na Obr. 4.8 je schéma zobrazující princip měření čtyřvodičového zapojení RLC metru.



Obr. 4.8 Princip měření čtyřvodičového zapojení RLC metru Agilent E4980A[18]

Tato metoda má výhody pro malé i velké hodnoty impedance. Vnější stínění vodičů pracují jako zpětná cesta pro testovací signál proudu I_x , měřící vodiče nejsou uzemněny. Stejný proud I_x teče přes oba středové vodiče H_{pot} , L_{pot} a vnější stínění v opačném směru. V důsledku toho se kolem vodičů negeneruje magnetické pole, protože se díky vnitřním a vnějším proudům vzájemně ruší. Testovací proud nevyvíjí indukční magnetické pole, a proto nepřispívá k dalším chybám způsobených vzájemnou indukčností.

Obr. 4.9 znázorňuje dva módy měření RLC metru Agilent E4980A. Vlevo je měření parazitní paralelní kapacity C_p – primární parametr – k odporu R_p , vpravo je měření parazitní sériové indukčnosti L_s – primární parametr – k odporu R_s .



Obr. 4.9 Náhradní schémata měření C_p - R_p a L_s - R_s , RLC metr Agilent E4980A [18]

4.4 Měření na programovatelné odporové dekádě M642

Cílem je prakticky realizovat příklad měření frekvenční závislosti na programovatelné odporové dekádě M642. Určit, zda je možné tuto dekádu provozovat i jako střídavou a s jakou přesností pro dané frekvenční pásmo.

Veškerá měření s programovatelnou odporovou dekádou probíhala v klimatizované laboratoři ve firmě MEATEST spol. s r.o. Po vytvoření procedury

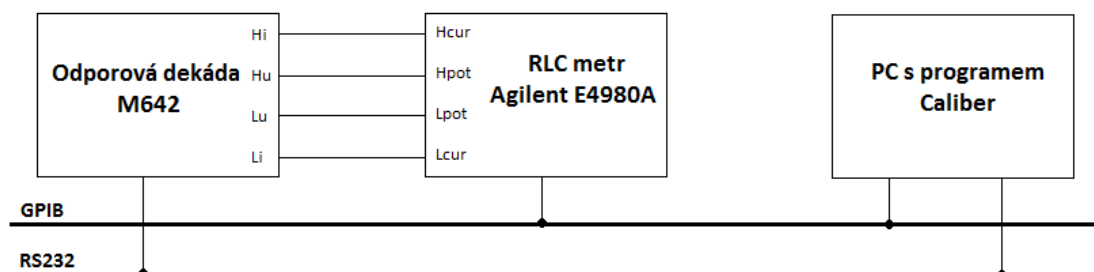
v programu *Caliber* se vše musí odladit, aby během celého měření nedošlo k jeho přerušení.

Aby se zajistila přesnost odporu na programovatelné odporové dekádě M642, byly změřeny hodnoty odporu multimetrem Fluke 8508A, který je certifikován jako český etalon. Na začátku měření se provedla na RLC metru Agilent E4980A funkce *OPEN* a *SHORT*. Funkce *OPEN* se provedla zkratováním $H_{CUR} - H_{POT}$ a $L_{CUR} - L_{POT}$. Funkce *SHORT* se provedla zkratováním všech svorek na RLC metru. Nastavení délky vodiče v menu RLC metru Agilent E4980A bylo 0m.

V příloze 1 je zobrazen protokol z měření vygenerovaný vytvořenou procedurou *M642_BP* v programu *Caliber*. V příloze 3 jsou tabulky s veškerými výpočty. Zde je uvedena jen část měření pro hodnotu odporu $R_{10} = 10\Omega$ a $R_{1k} = 1k\Omega$ v celém frekvenčním pásmu. Následně jsou uvedeny potřebné výpočty.

4.4.1 Blokové schéma měření

Obr. 4.10 zobrazuje blokové schéma pro měření frekvenční závislosti odporové dekády M642 měřicím přístrojem RLC metrem Agilent E4980A. Odporová dekáda je k RLC metru připojena čtyřvodičově koaxiálními vodiči. RLC metr je připojen ke sběrnici GPIB a odporová dekáda ke sběrnici RS232. Sběrnyce GPIB a RS232 jsou zapojeny k PC s programem *Caliber*. Použití obou sběrnic je z důvodů instalovaného rozhraní na měřicích přístrojích.



Obr. 4.10 Blokové schéma měřicího systému

4.4.2 Seznam měřicích přístrojů, jejich specifikace a podmínky měření

Pro měření frekvenční závislosti na odporové dekádě M642 byl použit precizní RLC metr Agilent E4980A, který byl s přesnou odporovou dekádou M642 připojen pomocí čtyřvodičového zapojení (Obr. 4.10). Jako vodiče byly použity koaxiální kabely. Měření probíhalo při teplotě $22,9^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost vzduchu 30%. V technické dokumentaci (příloha 2) jsou udány tyto parametry.

Programovatelná odporová dekáda M642

Označení	M642 V1000
Sériové číslo	660001
Rozsah odporu	100mΩ – 20MΩ
Přesnost odporu	±200 ppm
Maximální vstupní napětí	200V
Rozhraní	RS232
Základní přesnost	0,02%

RLC metr Agilent E4980A

Označení	Agilent E4980A precizní RLC metr
Sériové číslo	MY46203974
Platnost kalibrace	6/2015
Frekvenční rozsah	20Hz – 2MHz
Základní přesnost	±0,01%

Multimetr Fluke 8508A

Označení	Fluke 8508A
Sériové číslo	103359191
Kalibrováno	11/2014
Rozsah	2Ω – 20GΩ

RLC metr Agilent U1731C

Označení	Agilent U1731C bateriový RLC metr
Sériové číslo	MY54340088
Rozsah	2Ω – 200MΩ
Základní přesnost	0,2%

4.4.3 Měření parazitní paralelní kapacity na dekádě

M642

Měřicí přístroj Agilent E4980A byl nastaven na měřicí funkci C_p - R_p . Primární parametr měření je C_p a sekundární parametr je R_p .

V Tab. 4.1 jsou naměřené hodnoty z procedury *M642_BP* vytvořené v programu *Caliber*. Rozsah hodnot na programovatelné odporové dekádě je $R_{1k} = 1k\Omega$. Přístroj Agilent E4980A použitý jako etalon, na kterém se měří přesné hodnoty odporu a kapacity v závislosti na frekvenci. *Povoleno* R_{pov} znamená povolená chyba testovaného přístroje. *Odchylka* R_{od} je chyba testovaného přístroje

vůči etalonu. *Specifikace Spe* znázorňuje procento čerpání specifikace, je dána vztahem 4.5. Změřená nejistota je kombinovaná standartní nejistota $u_c(R_{1k})$.

$$Spe = \frac{R_{od}}{R_{po}} \cdot 100 \quad [\%; \Omega, \Omega] \quad (4.1)$$

Tab. 4.1 Frekvenční závislost parazitní paralelní kapacity C_p a paralelního odporu R_p , odporové dekádě M642, odpor R_{1k}

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Odchylka	Povoleno	Specifikace	Nejistota
$R_{1k} [k\Omega]$	$R_p [k\Omega]$	$f [Hz]$	$C_p [pF]$	$R_{od} [\Omega]$	$R_{pov} [\Omega]$	$Spe [\%]$	$u_c [\Omega]$
1,00000	1,00003	30	73	-0,03	0,2	-17	0,58
1,00000	0,99999	50	112	0,01	0,2	7	0,58
1,00000	1,00001	100	91	-0,01	0,2	-3	0,58
1,00000	1,00004	300	87	-0,04	0,2	-18	0,58
1,00000	1,00003	500	85	-0,03	0,2	-15	0,58
1,00000	1,00002	1000	76	-0,02	0,2	-9	0,58
1,00000	1,00000	3000	82	0,00	0,2	0	0,58
1,00000	0,99998	5000	82	0,02	0,2	12	0,58
1,00000	0,99988	10000	82	0,12	0,2	58	0,58
1,00000	0,99951	30000	80	0,49	0,2	243	0,58
1,00000	0,99916	50000	79	0,85	0,2	423	0,58
1,00000	0,99840	100000	77	1,60	0,2	775	1,20

Tab. 4.2 Vypočet frekvenční závislosti impedance Z , pro odpor R_{1k} odporové dekádě M642

Frekvence	Modul	Úhel	Činitel ztrát	Činitel jakosti
$f [Hz]$	$ Z_{R1k} [\Omega]$	$\varphi [^\circ]$	$D [-]$	$Q [-]$
30	1000,03	-0,0008	72671,31	1,38E-05
50	999,99	-0,0020	28420,81	3,52E-05
100	1000,01	-0,0033	17489,38	5,72E-05
300	1000,04	-0,0094	6097,65	1,64E-04
500	1000,03	-0,0153	3744,71	2,67E-04
1000	1000,02	-0,0274	2094,10	4,78E-04
3000	1000,00	-0,0886	646,97	1,55E-03
5000	999,98	-0,1476	388,19	2,58E-03
10000	999,87	-0,2952	194,11	5,15E-03
30000	999,40	-0,8635	66,35	1,51E-02
50000	998,85	-1,4205	40,33	2,48E-02
100000	997,24	-2,7654	20,70	4,83E-02

Výpočty:

Reaktance

$$X_{R1k} = \frac{1}{j\omega C_p} \quad [\Omega] \quad (4.2)$$

Kde X_{R1k} ... reaktance odporu R_{1k}
 ω ... úhlová rychlost
 C_p ... paralelní kapacita

Impedance

$$Z_{R1k} = \frac{R_p * X_{R1k}}{R_p + X_{R1k}} \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

Kde Z_{R1k} ... impedance odporu R_{1k}
 R_p ... paralelní odpor ke kapacitě C_p
 X_{R1k} ... reaktance odporu R_{1k}

Modul $|Z|$

$$|Z_{R1k}| = \sqrt{R_p^2 + X_{R1k}^2} \quad [\Omega] \quad (4.4)$$

Kde $|Z_{R1k}|$... modul impedance odporu R_{1k}
 R_p ... paralelní odpor ke kapacitě C_p
 X_{R1k} ... reaktance odporu R_{1k}

Fáze φ impedance

$$\varphi = \arctg \frac{|X|}{R_p} \quad [^\circ] \quad (4.5)$$

Kde φ ... fáze impedance Z_{R1k}
 R_p ... paralelní odpor ke kapacitě C_p
 X_{R1k} ... reaktance odporu R_{1k}

Činitel ztrát

$$D = \frac{1}{\omega * C_p * R_p} \quad [-] \quad (4.6)$$

Kde D ... činitel ztrát
 ω ... úhlová rychlost
 C_p ... paralelní kapacita
 R_p ... paralelní odpor ke kapacitě C_p

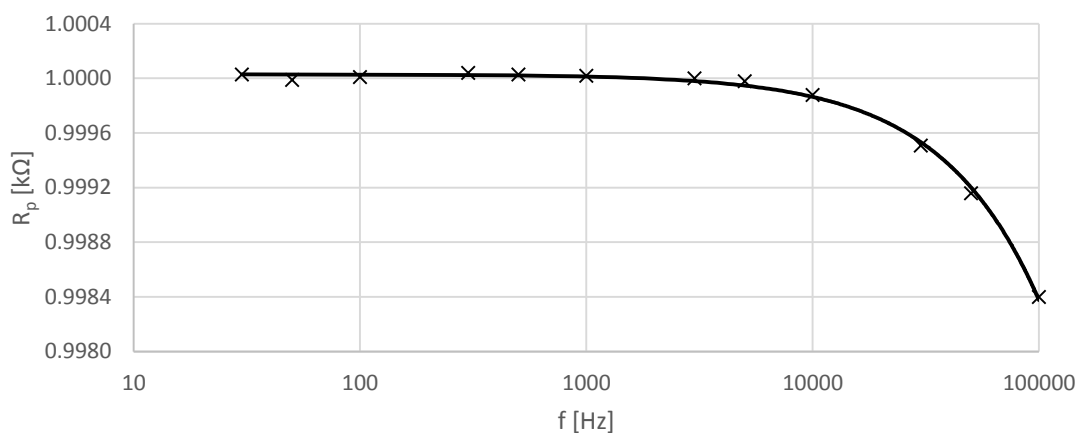
Činitel jakosti

$$Q = \frac{1}{D} \quad [-] \quad (4.7)$$

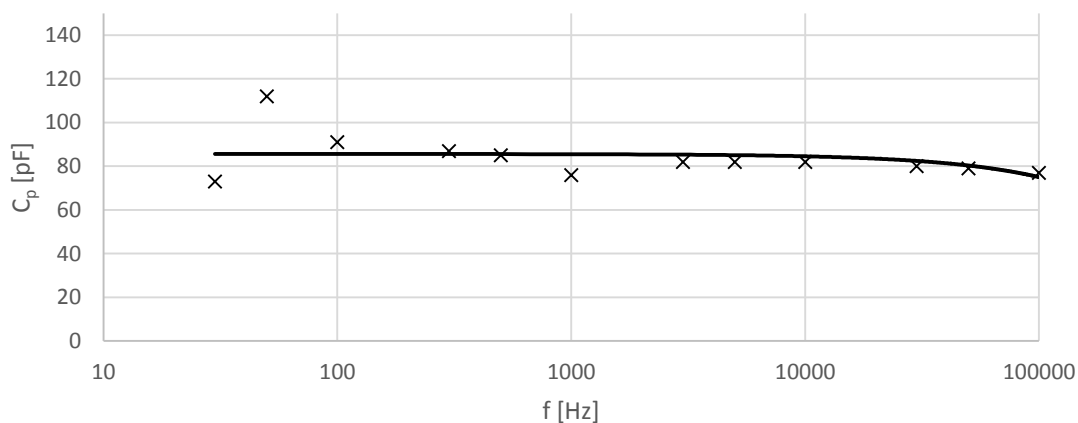
Kde D ... činitel ztrát

Grafy:

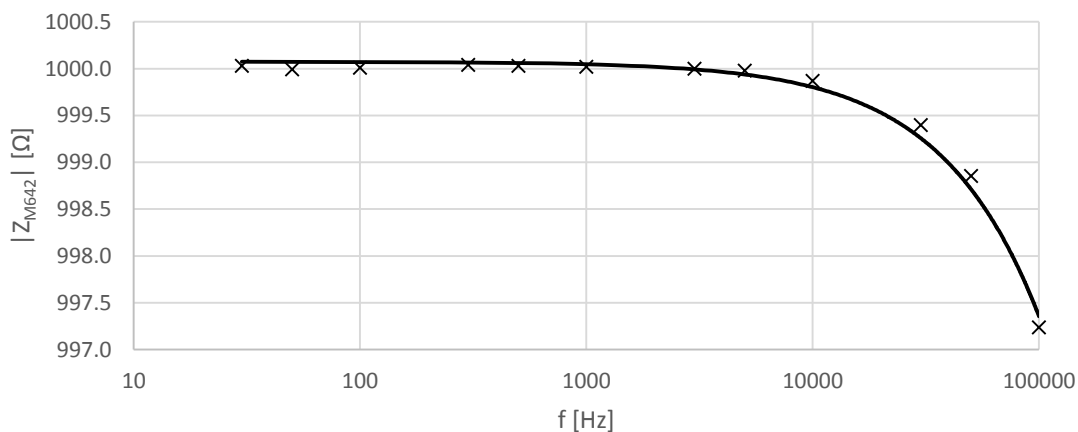
Graf 1: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642, rozsah $R_{M642} = 1\text{k}\Omega$

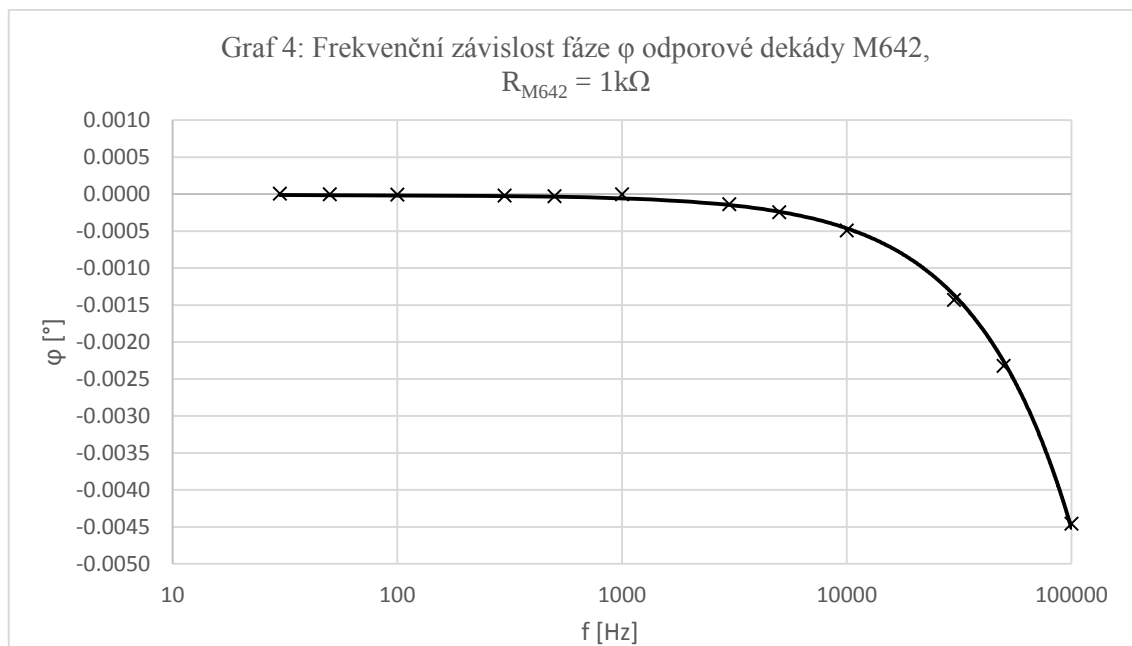


Graf 2: Frekvenční závislost parazitní paralelní kapacity C_p , odporová dekáda M642, rozsah $R_{M642} = 1\text{k}\Omega$



Graf 3: Frekvenční závislost modulu $|Z_{M642}|$ odporové dekády M642, $R_{M642} = 1\text{k}\Omega$





Zhodnocení měření parazitní kapacity C_p odporu R1k

Graf 1 znázorňuje průběh frekvenční závislosti paralelního odporu R_p stavitelného přesného odporu $R_{1k} = 1k\Omega$ programovatelné odporové dekády M642 ve frekvenčním pásmu od 30Hz do 100kHz. Z *grafu 1* lze jednoznačně říci, že v daném rozsahu se zvyšující frekvencí klesá měřená hodnota paralelního odporu R_{1kp} . *Graf 2* zobrazuje průběh frekvenční závislosti parazitní paralelní kapacity C_p stavitelného přesného odporu R_{1k} . Z grafické závislosti je patrné, že měřená hodnota parazitní kapacity C_p je ve frekvenčním rozsahu 100Hz – 100kHz přibližně lineární s maximálním rozdílem dílčích měřených hodnot není větší než 15pF. Pro frekvence nižší než 100Hz byla provedena pouze 2 měření a rozdíl měřených hodnot parazitní kapacity C_p výrazně vyšší až 40pF. *Graf 3 a 4* zobrazuje modul $|Z|$ a fázi φ . Lze usoudit, že při narůstající frekvenci se zvyšuje parazitní prvek, v tomto případě parazitní paralelní kapacita C_p . Ve frekvencích 30Hz – 3kHz je fáze modulu $|Z_{M642}|$ v rozmezí $-0,0008^\circ$ – $-0,0886^\circ$, což se přibližuje ideálnímu rezistoru. Ve frekvenci nad 3kHz je již parazitní paralelní kapacita C_p odporu výraznější. Závěrem lze říci, že při použití střídavého napětí na programovatelné odporové dekádě M642 na rozsahu 1k Ω má odpor kapacitní charakter.

4.4.4 Měření parazitní sériové indukčnosti na dekádě

M642

Měřicí přístroj Agilent E4980A, byl nastaven na měření pomocí funkce L_s - R_s . Primární prvek L_s – parazitní sériová indukčnost, sekundární prvek R_s – sériový odpor.

V Tab. 4.3 jsou naměřené hodnoty z procedury *M642_BP* vytvořené v programu *Caliber*. Rozsah hodnot na programovatelné odporové dekádě je $R_{10} = 10\Omega$. Přístroj Agilent E4980A použitý jako etalon, na kterém se měří přesné hodnoty odporu R_s a indukčnosti L_s v závislosti na frekvenci.

Tab. 4.3 Měření frekvenčních závislosti parazitní sériové indukčnosti a sériového odporu, programovatelná odporová dekáda M642, nastavená hodnota odporu 10Ω

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Odchylka	Povoleno	Specifikace	Nejistota
$R_{10} [\Omega]$	$R_s [\Omega]$	$f [\text{Hz}]$	$L_s [\text{nH}]$	$R_{od} [\text{m}\Omega]$	$R_{pov} [\text{m}\Omega]$	Spe [%]	$u_c [\text{m}\Omega]$
10,000	9,983	30	977	16,7	17	98	5,8
10,000	9,983	50	1055	16,8	17	99	5,8
10,000	9,984	100	874	16,5	17	97	5,8
10,000	9,984	300	842	16,3	17	96	5,8
10,000	9,984	500	462	16,3	17	96	5,8
10,000	9,984	1000	610	16	17	96	12
10,000	9,984	3000	683	16	17	92	12
10,000	9,985	5000	676	15	17	90	12
10,000	9,985	10000	172	15	17	86	12
10,000	9,986	30000	168	14	17	80	12
10,000	9,989	50000	367	11	17	64	12
10,000	9,993	100000	798	7	17	38	17

Tab. 4.4 Výpočet frekvenční závislosti impedance Z, pro odpor R_{1k} odporové dekády M642

Frekvence	Modul	Úhel	činitel ztrát	činitel jakosti
f [Hz]	Z _{R10} [Ω]	φ [°]	D [-]	Q [-]
30	9,983	0,001	54209,88	1,84E-05
50	9,983	0,002	30120,86	3,32E-05
100	9,984	0,003	18179,90	5,50E-05
300	9,984	0,009	6290,40	1,59E-04
500	9,984	0,008	6878,59	1,45E-04
1000	9,984	0,022	2604,92	3,84E-04
3000	9,984	0,074	775,50	1,29E-03
5000	9,985	0,122	470,17	2,13E-03
10000	9,985	0,062	923,93	1,08E-03
30000	9,986	0,182	315,34	3,17E-03
50000	9,990	0,661	86,64	1,15E-02
100000	10,006	2,872	19,93	5,02E-02

Výpočty:

Reaktance

$$X_{R10} = j\omega L_s \quad [\Omega] \quad (4.8)$$

Kde
 X_{R10} ... reaktance odporu R₁₀
 ω ... úhlová rychlost
 L_s ... sériová indukčnost

Impedance

$$Z_{R10} = R_s + jX_{R10} \quad [\Omega] \quad (4.9)$$

Kde
 X_{R10} ... reaktance odporu R₁₀
 R_s ... sériový odpor

Modul |Z_{R10}|

$$|Z_{R10}| = \sqrt{R_s^2 + X_{R10}^2} \quad [\Omega] \quad (4.10)$$

Kde
 X_{R10} ... reaktance odporu R₁₀
 R_s ... sériový odpor

Úhel φ

$$\varphi = \arctg \frac{|X_{R1k}|}{R_s} \quad [^\circ] \quad (4.11)$$

Kde
 φ ... fáze impedance Z_{R10}
 R_s ... sériový odpor k indukčnosti L_s
 X_{R1k} ... reaktance odporu R_{1k}

Činitel jakosti

$$Q = \frac{\omega * L_s}{R_s} \quad [-] \quad (4.12)$$

Kde

Q	... činitel jakosti
ω	... úhlová rychlost
L_s	... sériová indukčnost
R_s	... sériový odpor k indukčnosti L_s

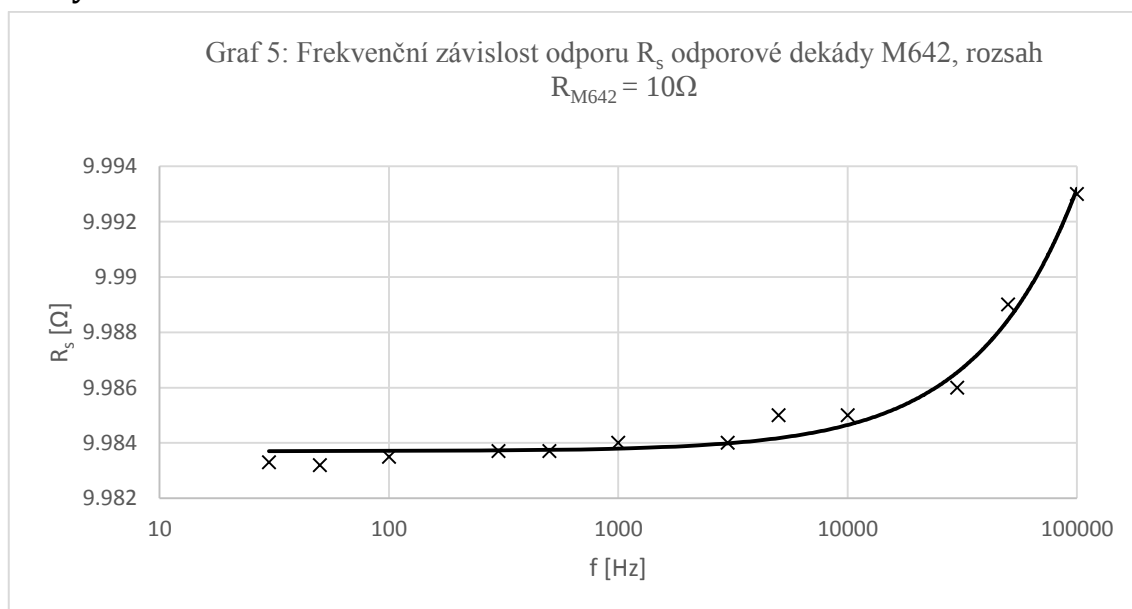
Činitel ztrát

$$D = \frac{1}{Q} \quad [-] \quad (4.13)$$

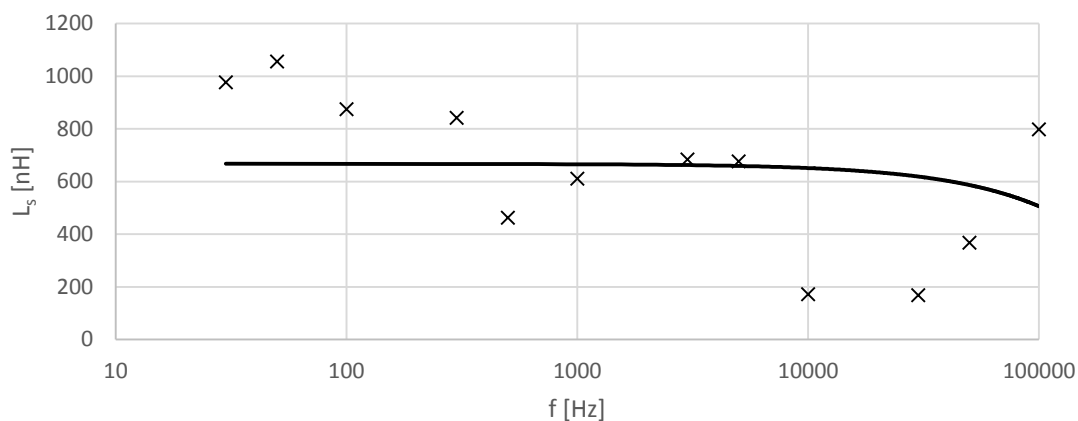
Kde

Q	... činitel jakosti
---	---------------------

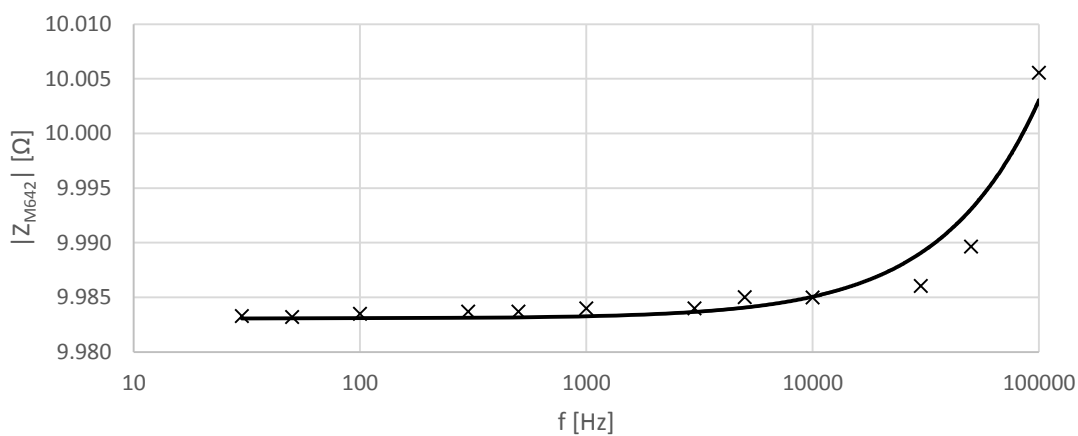
Grafy:



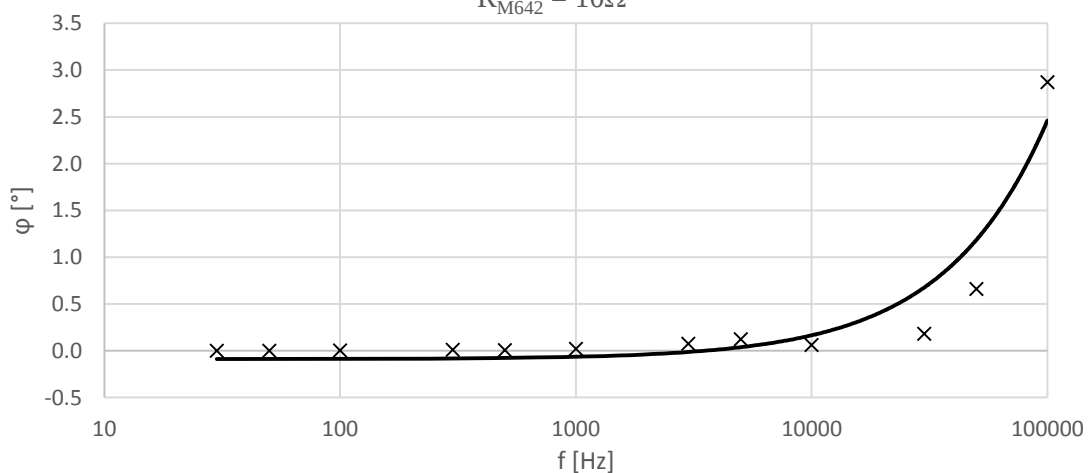
Graf 6: Frekvenční závislost parazitní sériové indukčnosti L_s odporové dekády M642, rozsah $R_{M642} = 10\Omega$



Graf 7: Frekvenční závislost modulu $|Z_{M642}|$ odporové dekády M642, $R_{M642} = 10\Omega$



Graf 8: Frekvenční závislost fáze φ odporové dekády M642, $R_{M642} = 10\Omega$



Zhodnocení

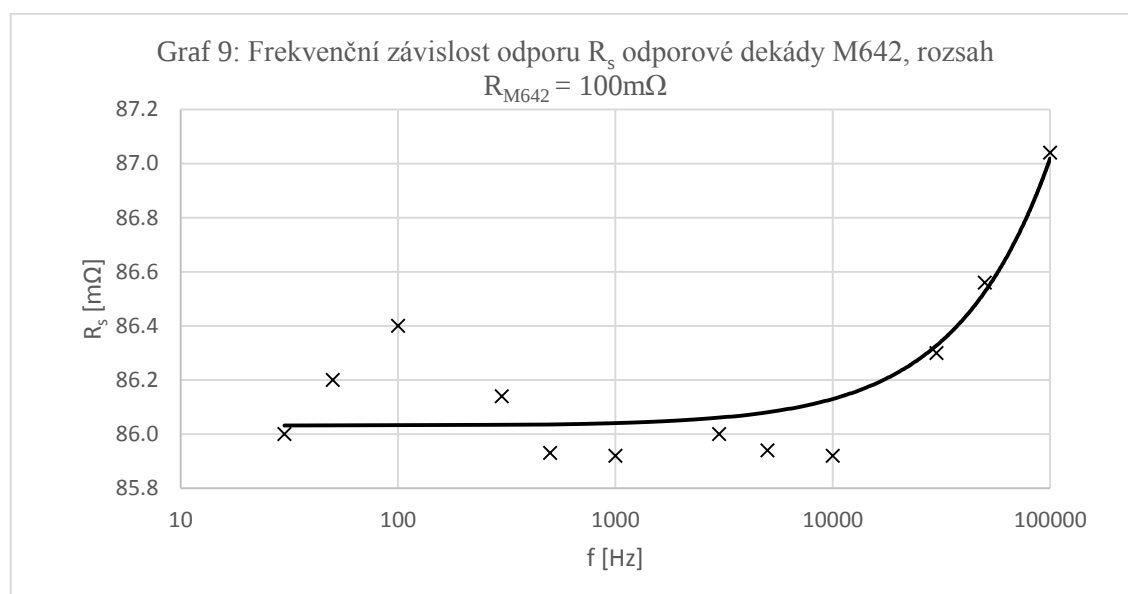
Graf 5 znázorňuje průběh frekvenční závislosti sériového odporu R_{10} stavitelného přesného odporu $R_{10} = 10\Omega$ programovatelné odporové dekády M642 ve frekvenčním pásmu od 30Hz do 100kHz. Z *grafu 5* lze říci, že v daném rozsahu se zvyšující frekvencí roste měřená hodnota sériového odporu R_s . *Graf 6* zobrazuje průběh frekvenční závislosti parazitní sériové indukčnosti L_s stavitelného přesného odporu R_{10} . Z grafické závislosti je patrné, že měřená hodnota parazitní indukčnosti L_s je v daném frekvenčním rozsahu téměř lineární s velkým rozkmitem hodnot a s maximálním rozdílem dílčích měřených hodnot menším než 890nH.

Graf 7 a 8 zobrazuje modul $|Z|$ a fázi φ . S rostoucí frekvencí se zvyšuje parazitní prvek – sériová indukčnost. Z *grafu 8* ve frekvenčním rozsahu 30Hz – 10kHz lze z fáze modulu $|Z_{M642}|$ říci, že se odporová dekáda M642 chová téměř jako ideální odpor. Nad 100kHz výrazněji roste parazitní sériová indukčnost. Závěrem lze usoudit, že při použití střídavého napětí se programovatelné odporové dekádě M642 na rozsahu 10Ω má odpor induktivní charakter.

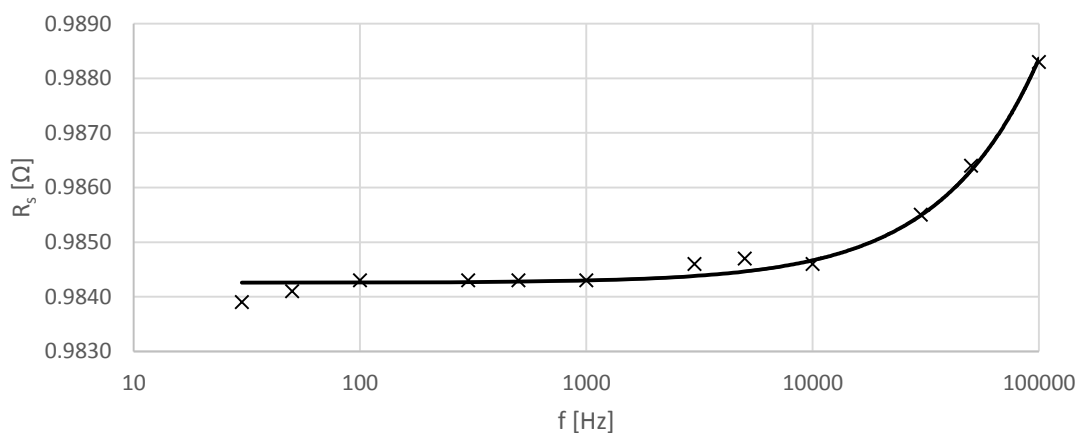
4.4.5 Grafy frekvenční závislosti R_{M642} odporové dekády

M642

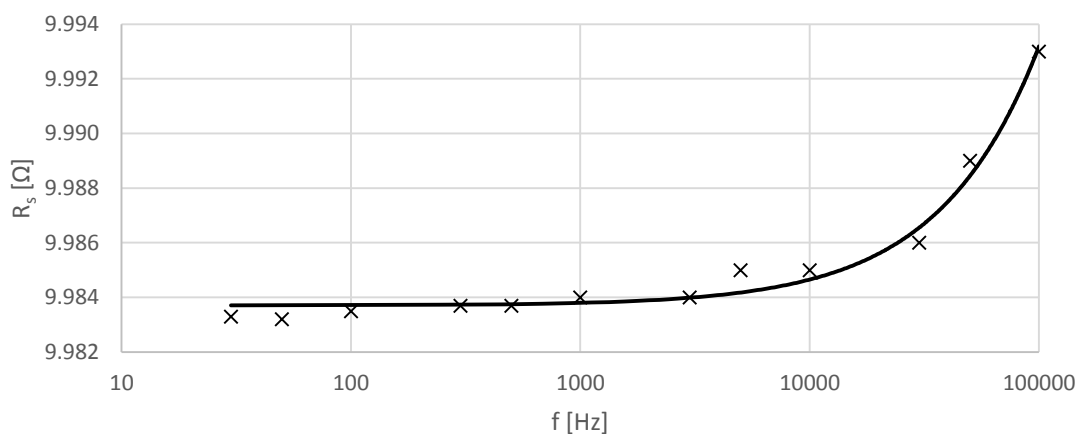
V této podkapitole jsou zobrazeny grafy frekvenční závislosti sériového odporu R_s , parazitní sériové indukčnosti L_s , paralelního odporu R_p a parazitní paralelní kapacity C_p . Grafy vychází z tabulek přílohy 3.



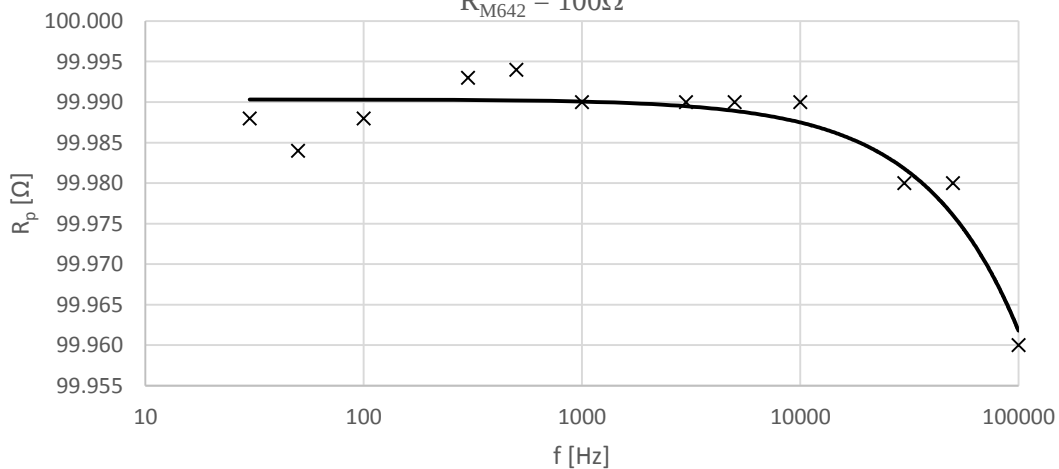
Graf 10: Frekvenční závislost odporu R_s odporové dekády M642, rozsah $R_{M642} = 1\Omega$



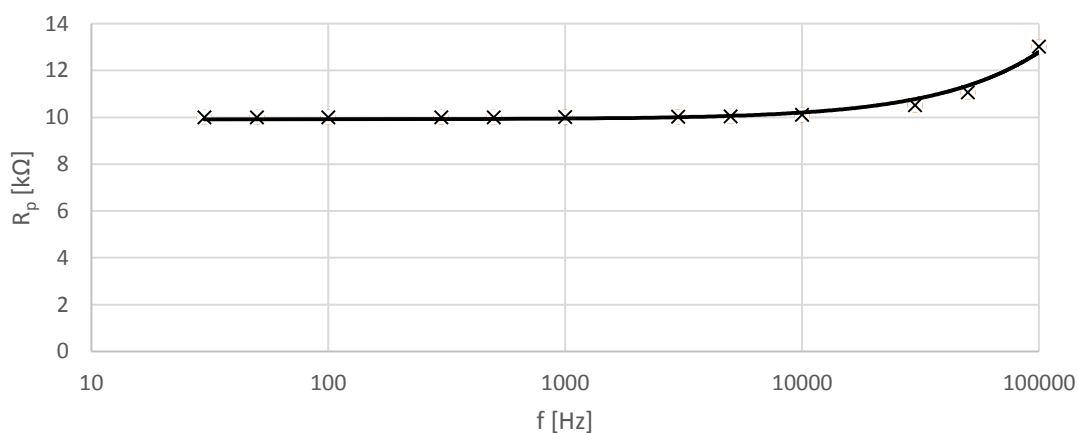
Graf 11: Frekvenční závislost odporu R_s odporové dekády M642, rozsah $R_{M642} = 10\Omega$



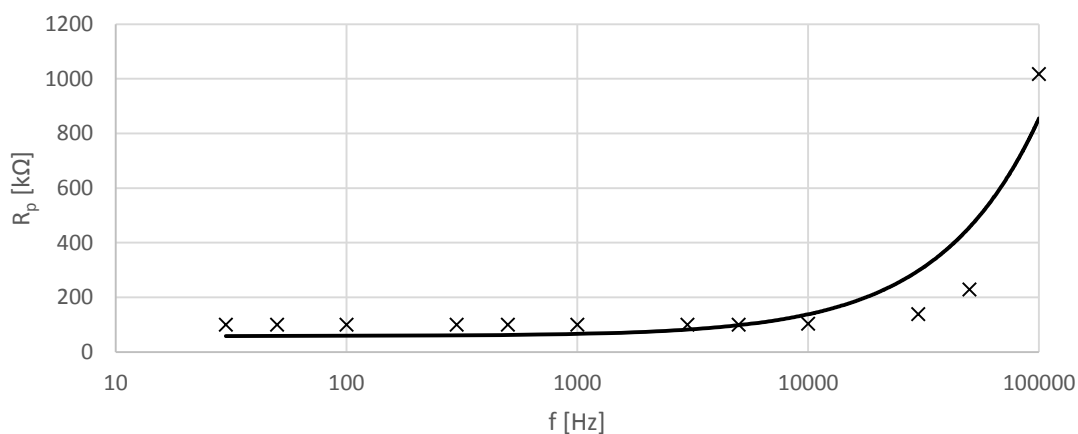
Graf 12: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642, rozsah $R_{M642} = 100\Omega$



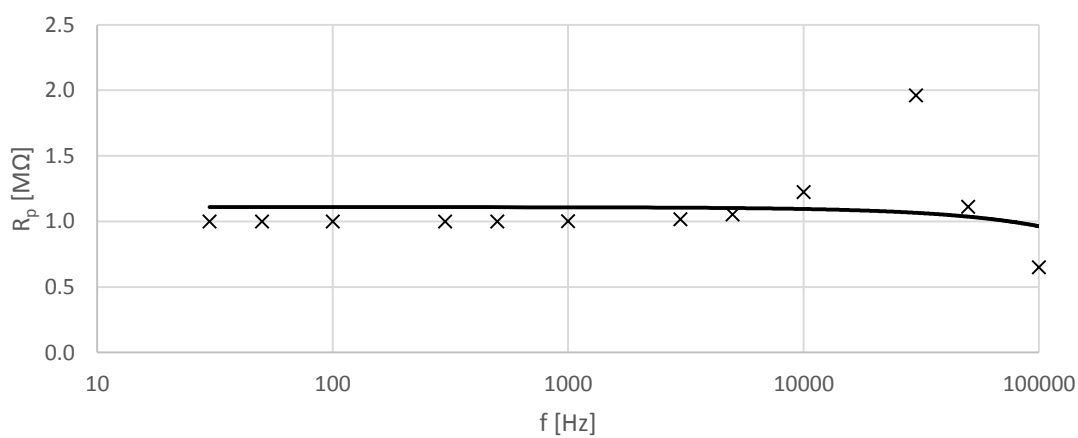
Graf 13: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642,
 $R_{M642} = 10\text{k}\Omega$



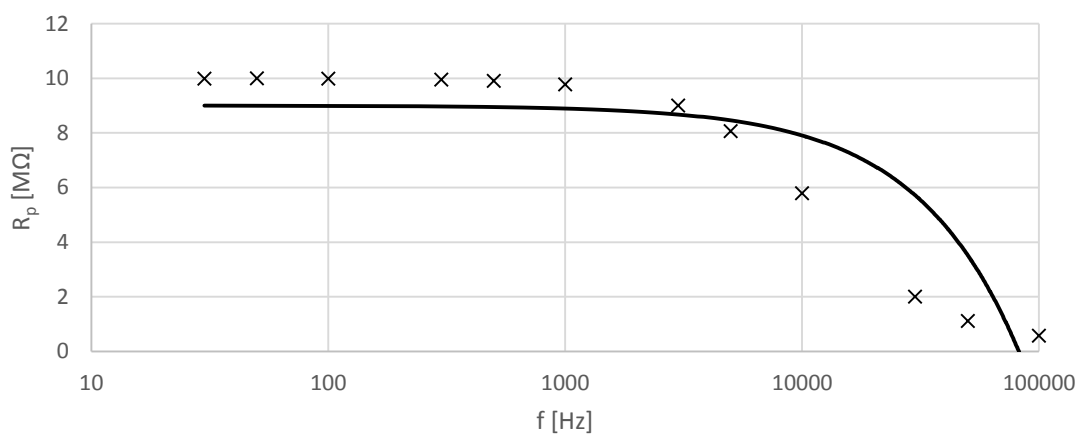
Graf 14: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642,
 $R_{M642} = 100\text{k}\Omega$



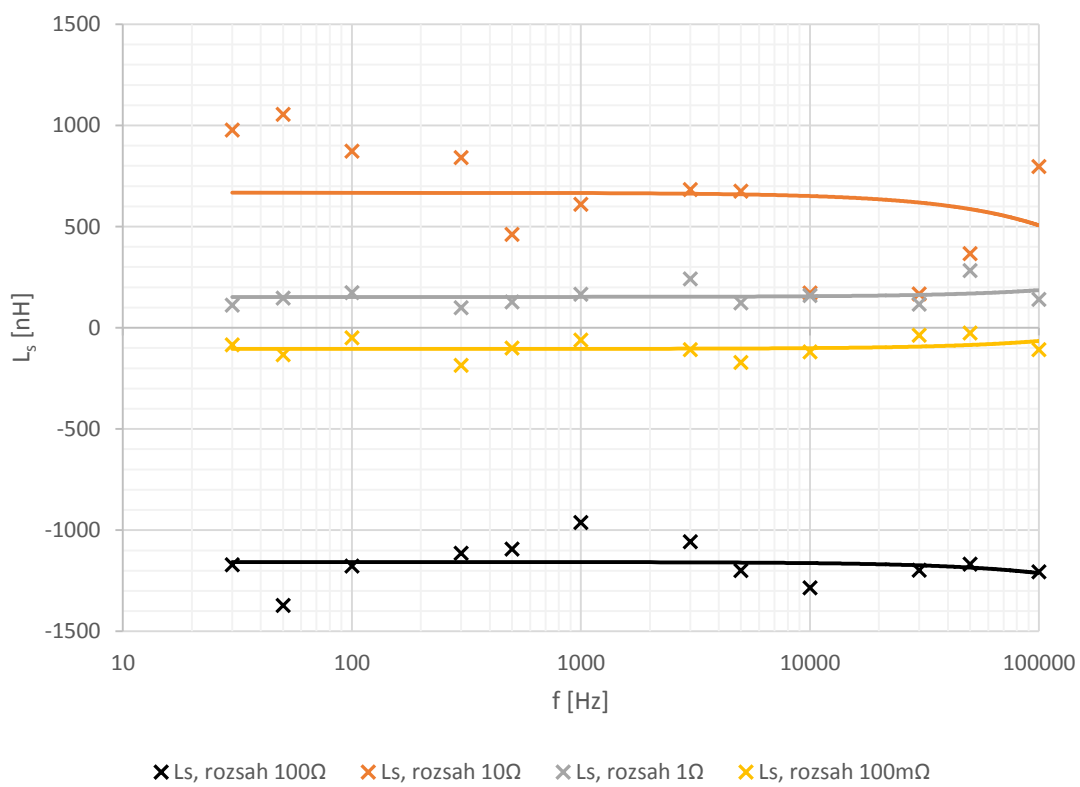
Graf 15: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642,
 $R_{M642} = 1\text{M}\Omega$

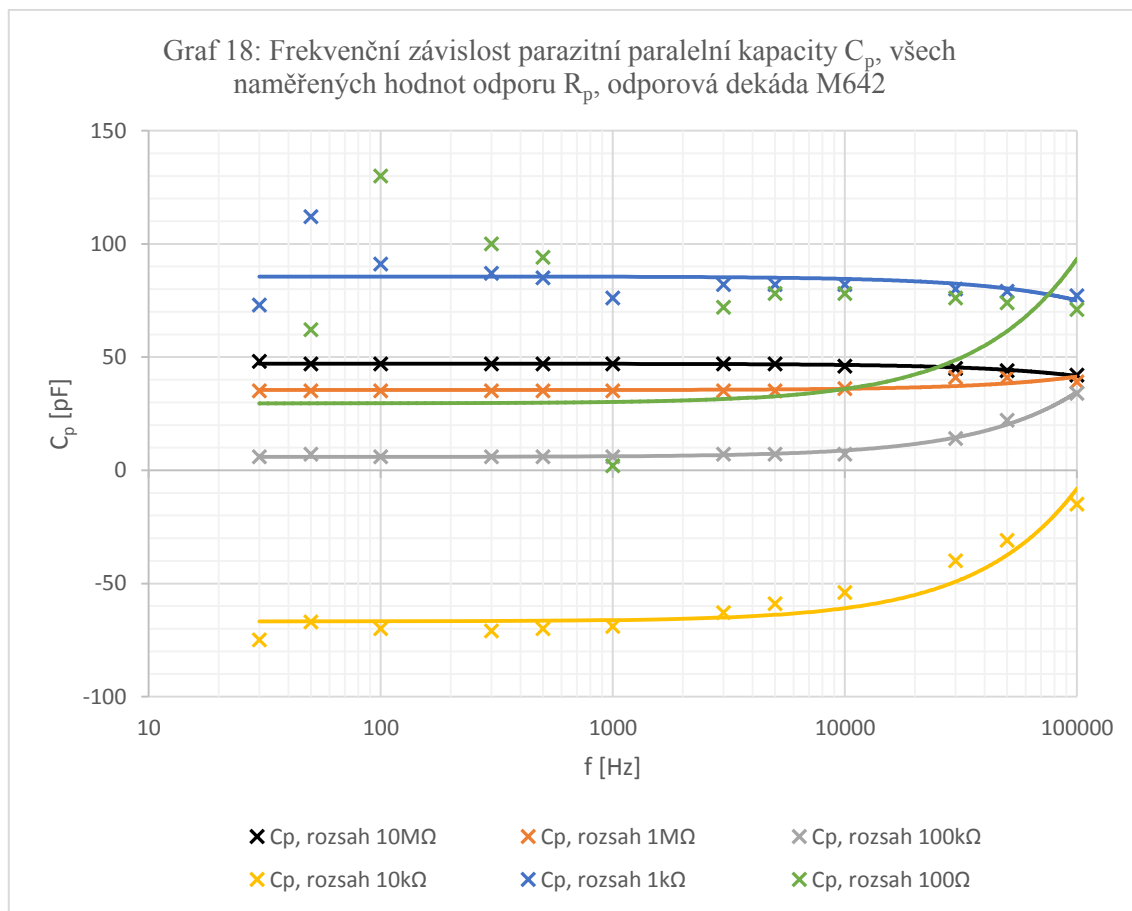


Graf 16: Frekvenční závislost odporu R_p odporové dekády M642,
 $R_{M642} = 10\text{M}\Omega$



Graf 17: Frekvenční závislost parazitní sériové indukčnosti L_s , všech
 naměřených hodnot odporu R_s , odporové dekády M642





4.4.6 Měření přesnosti odporu dekády M642 na etalonu Fluke 8508A

Toto měření bylo provedeno z důvodu přesné referenční hodnoty odporu na programovatelné odporové dekádě M642. Zapojení bylo čtyřvodičové a měřicí přístroj byl etalon Fluke 8508A. V Tab. 4.5 je vypočítána relativní chyba odporové dekády M642 a výsledky potvrdily její správnou kalibraci stavitelných odporů.

Tab. 4.5 Změřené referenční hodnoty odporu na programovatelné odporové dekádě M642

M642	Fluke 8508A	Relativní chyba M642
$R_{M642} [\Omega]$	$R_{8508A} [\Omega]$	$\delta [\%]$
0,1 Ω	0,11240 Ω	11,032 %
1 Ω	1,01065 Ω	1,054 %
10 Ω	10,00860 Ω	0,086 %
100 Ω	100,01100 Ω	0,011 %
1 k Ω	0,99999 k Ω	0,001 %
10 k Ω	9,99980 k Ω	0,002 %
100 k Ω	99,99700 k Ω	0,003 %
1 M Ω	0,99998 M Ω	0,002 %
10 M Ω	9,99930 M Ω	0,007 %

Výpočty:

$$\delta = \frac{R_{8508A} - R_{M642}}{R_{8508A}} * 100 \quad [\%] \quad (4.14)$$

Kde δ ... relativní chyba odporové dekády M642
 R_{8508A} ... hodnota odporu multimetru Fluke 8508A
 R_{M642} ... hodnota odporu odporové dekády M642

4.4.7 Měření parazitních kapacit vůči kostře dekády M642

Pro kontrolu možnosti použití uzemnění kostry přístroje M642, byla bateriovým RLC metrem *Agilent U1731C* změřena parazitní kapacita proudových svorek programovatelné odporové dekády M642 vůči kostře. V Tab. 4.6 jsou tyto hodnoty zapsány.

Tab. 4.6 Naměřené hodnoty parazitních kapacit vůči kostře dekády M642

M642	Agilent U1731C	
Rozsah odporu	Hi - zem	Li - zem
$R_{M642} [\Omega]$	C [nF]	C [nF]
0,1 Ω	2,152	2,152
1 Ω	2,159	2,161
10 Ω	2,157	2,164
100 Ω	2,16	2,16
1 k Ω	2,161	2,161
10 k Ω	2,141	2,163
100 k Ω	1,279	2,125
1 M Ω	1,609	1,688
10 M Ω	1,652	1,612

4.4.8 Zhodnocení měření

Cílem celého měření bylo zjistit, zda se programovatelná odporová dekáda M642 může použít i jako impedanční zátěž v daném frekvenčním pásmu. Tab. 4.7 znázorňuje relativní chybu v procentech o kolik se změřená hodnota odporu liší od referenční hodnoty změřené na etalonu Fluke 8508A.

Pro rozsah 0,1 Ω se odporová dekáda M642 nedá použít ve frekvenčním pásmu 30Hz – 100kHz, z důvodů vysoké relativní chyby až 23%. Frekvence 100kHz se při rozsahu odporu $R_{M642} = 100k\Omega$ jeví nesmyslná, nejspíš chyba v měření.

V Tab. 4.7 je barevně odlišen kapacitní a induktivní charakter hodnot odporu. Oranžovou barvou je znázorněn kapacitní charakter a bílou pak induktivní charakter. Červeným písmem jsou hodnoty nepoužitelné pro měření ve frekvenční závislosti.

Tab. 4.7 Přesnost programovatelné odporové dekády M642 ve frekvenční závislosti R_{M642} , referenční hodnota odporu R_{8508A} změřená multimetrem Fluke 8508A

f [Hz]	Relativní chyba δ [%]								
	$R_{M642} [\Omega]$								
	0,1 Ω	1 Ω	10 Ω	100 Ω	1k Ω	10k Ω	100k Ω	1M Ω	10M Ω
30 Hz	23,5 %	2,6 %	0,3 %	0,02 %	0,004 %	0,003 %	0,003 %	0,002 %	0,09 %
100 Hz	23,1 %	2,6 %	0,3 %	0,02 %	0,002 %	0,001 %	0,003 %	0,002 %	0,09 %
1 kHz	23,6 %	2,6 %	0,2 %	0,02 %	0,003 %	0,040 %	0,030 %	0,100 %	2,30 %
10 kHz	23,6 %	2,6 %	0,2 %	0,02 %	0,010 %	1,060 %	4,000 %	22 %	42 %
100 kHz	22,6 %	2,2 %	0,2 %	0,05 %	0,600 %	30 %	918 %	35 %	94 %

Výpočty:

$$\delta = \frac{R_{8508A} - R_p}{R_{8508A}} * 100 \quad [\%] \quad (18)$$

Kde δ ... relativní chyba odporové dekády M642
 R_{8508A} ... hodnota odporu multimetru Fluke 8508A
 R_p ... paralelní odpor odporové dekády M642

V *grafech 9 – 16* jsou zobrazeny graficky frekvenční závislosti odporu odporové dekády M642 v celém rozsahu měření. V *grafech 17 a 18* jsou celkově zobrazeny parazitní složky odporu R_{M642} .

Z *grafu 17* lze určit, kdy má odpor R_{M642} induktivní charakter. O odporu $R_{10} = 10\Omega$ a $R_1 = 1\Omega$ můžeme říci, že má induktivní charakter. Odpor $R_{100} = 100\Omega$ a $R_{100m} = 100m\Omega$ má záporně změřenou parazitní sériovou indukčnost, proto má kapacitní charakter.

V *grafu 18* jsou všechny paralelní parazitní kapacity C_p kladné, až na změřenou kapacitu C_p na rozsahu odporu $R_{10k} = 10k\Omega$, kdy je zřejmý induktivní charakter odporu.

5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo prostudovat a popsat programovatelnou odporovou dekádu M632 od firmy MEATEST spol. s r.o. K tomu je potřeba znát základní vlastnosti rezistoru, které jsou v práci uvedeny. Jsou zde popsány funkce programovatelné odporové dekády M632.

Pro přesnost dekády jsou velice důležité použité součástky. V dekádě se vyskytují precizní rezistory od firmy Vishay, které se pyšní svou technologií foliových rezistoru s vysokou stabilitou a nízkou hodnotou šumu. Spínání rezistoru zajišťují relé Meder a Pickering s nízkým teplotním a offsetovým napětím.

Přesnost programovatelné odporové dekády M632 základní třídy přesnosti 0,003% se docílí správnou kalibrací, kterou lze dosáhnout přesnějším přístrojem s třídou přesnosti například 0,001%. Odporů se měří v předepsaných hodnotách a následně ke každému testovanému odporu se запиše správná hodnota odporu.

Na světovém trhu se s konkurenčními odporovými dekádami typu M632 moc nesetkáme. Například firma Sonel se zabývá odporovými dekádami větších odporů. Programovatelná odporová dekáda 2090 firmy Transmille se svými parametry podobá dekádě M632 a v bakalářské práci jsou tyto dekády porovnány.

Další část bakalářské práce se zabývá teoretickým návrhem pro měření frekvenční závislosti odporu dekády M632. Jako měřicí přístroj je použit RLC metr Agilent E4980A.

Poslední bod práce je prakticky realizovat navrhnuté měření. Návrh měření bylo pro programovatelnou odporovou dekádu M632. Praktické měření probíhalo s programovatelnou odporovou dekádou M642. Rozdíl mezi těmito odporovými dekádami je pouze v přesnosti a rozsahu odporu. Základní přesnost odporové dekády M642 je 0,02%, což je o řád menší přesnost než u odporové dekády M632.

Aby se ověřilo, zda odporová dekáda M642 splňuje přesnost udávanou katalogem, bylo provedeno měření pomocí přesného multimetru Fluke 8508A, který je certifikován jako český etalon. Měřením se potvrdila správnost kalibrace této odporové dekády.

Výsledkem celé práce je výhodnost použití odporové dekády M642 k měření malých hodnot odporu $0,1\Omega$ i velkých hodnot odporu až $10M\Omega$. Tuto odporovou dekádu je možné použít ve vybraných hodnotách odporu (Tab. 4.7) i jako impedanční zátěž ve frekvenčním pásmu od 30Hz – 100kHz.

Literatura

- [1] *Popular* [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <<http://popular.fbmi.cvut.cz/elektrotechnika/Stranky/Rezistory.aspx>>
- [2] *COP* [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: http://www.copsu.cz/mikrop/didakticka_pomucka/elektronicke_soucastky/rezistory.html
- [3] BEJČEK, Ludvík, Miroslav ČEJKA, Jiří REZ, Eva GESCHEIDTOVÁ a Miroslav STEIBAUER. *Měření v elektrotechnice* [online]. 2003 [cit. 2017-01-05].
- [4] Snímače teploty. [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <<http://skriptum.wz.cz/autom/teplota.htm>>
- [5] *High Precision Foil Resistor* [online]. 15-7-2014 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <<http://www.vishaypg.com/docs/63001/63001.pdf>>
- [6] Společnost Farnell. [online]. 2015 [cit. 2016-10-28]. Dostupné z: <<http://cz.farnell.com/multicomp/mf25-1k/resistor-1k-0-25w-1/dp/9341102>>
- [7] *MEDER electronic* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: http://www.meder.com/fileadmin/meder/pdf/en/Products/Reed_Relays/Relay_BT_Series_E.pdf
- [8] *Transmille Ltd* [online]. 2014 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.transmille.com/2090-programmable-decade-resistance-box>
- [9] *Transmille: Specifikace k dekádě 2090* [online]. 2012 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: http://www.transmille.com/file_upload/2090-Extended-Specifications.pdf
- [10] *Meatest: M632 Přesná odporová dekáda* [online]. 2016 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-m632-presna-odporova-dekada-detail-254>
- [11] *Meatest: Návod k M632 Přesná odporová dekáda* [online]. 2016 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/files/download/man/m632n.pdf>
- [12] *Meatest: Prospekt k M632 Přesná odporová dekáda* [online]. 2016 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/files/download/dat/m632p.pdf>
- [13] *Meatest: Caliber – program pro automatizované kalibrace* [online]. 2016 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-caliber-program-pro-automatizovane-kalibrace-detail-125>
- [14] *Meatest: Prospekt k Caliber – program pro automatizované kalibrace* [online]. 2010 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/files/download/dat/calp.pdf>
- [15] *Meatest: Návod k Caliber – program pro automatizované kalibrace* [online]. 2013 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/files/download/man/caln.pdf>
- [16] *Pickering series 100: Datasheet* [online]. 2009 [cit. 2016-12-22]. Dostupné z: <http://www.pickeringrelay.com/pdfs/100.pdf>
- [17] Pandatron: Rozdíly analogového a digitálního návrhu. [online]. 2013 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1496&rozdiily_analogoveho_a_digitalniho_navrhu
- [18] AGILENT TECHNOLOGIES. Agilent E4980A Precision RLC Meter: User's Guide [online]. Ninth Edition. 2012 [cit. 2017-05-15].

- [19] *Meatest: Programmable Resistance Decade* [online]. 2015 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/files/download/man/m632n.pdf>
- [20] AGILENT TECHNOLOGIES. *Agilent U1731C Handheld RLC Meter: User's Guide* [online]. Seventh Edition. 2012 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.sophphx.caltech.edu/Lab_Equipment/Agilent_U1731C_LCR_Meter.pdf

Seznam symbolů, veličin a zkratek

R_x	- hodnota měřeného odporu
U_x	- napětí protékající odporem
I_x	- proud protékající odporem
R_E	- hodnota odporu etalonu
U_E	- napětí protékající etalonovým odporem
I_E	- proud protékající etalonovým odporem
R_p	- paralelní odpor
C_p	- paralelní parazitní kapacita
L_s	- sériová parazitní indukčnost
R_s	- sériový odpor
H_{CUR}	- kladná proudová svorka na RLC metru Agilent E4980A
H_{POT}	- kladná napěťová svorka na RLC metru Agilent E4980A
L_{CUR}	- záporná proudová svorka na RLC metru Agilent E4980A
L_{POT}	- záporná napěťová svorka na RLC metru Agilent E4980A
$ Z $	- podíl efektivních hodnot napětí a proudu, modul impedance
φ	- fáze modulu impedance
X_{R1k}	- reaktance odporu R_{1k}
ω	- úhlová rychlost
Z_{R1k}	- impedance odporu R_{1k}
$ Z_{R1k} $	- modul impedance odporu R_{1k}
D	- činitel ztrát
Q	- činitel jakosti
R_{8508A}	- hodnota odporu multimetru Fluke 8508A
R_{M642}	- hodnota odporu odporové dekády M642

Seznam příloh

Příloha 1. Protokol z měření vygenerovaný procedurou *M642_BP* v programu *Caliber*

Příloha 2. Specifikace k programovatelné odporové dekádě M642

Příloha 3. Tabulky vypočtených hodnot

Příloha 4. CD s elektronickou verzí práce, exportovanou procedurou *M642_BP*

Příloha 1

Funkce	Rozsah	Etalon	UUT	Odchylka	%spe	Povoleno	Nejistota	
<RP-R4W	100 Ohm	99.988 Ohm; 30Hz	100.000 Ohm	12 mOhm	35	35 mOhm	58 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.984 Ohm; 50Hz	100.000 Ohm	16 mOhm	46	35 mOhm	58 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.988 Ohm; 100Hz	100.000 Ohm	12 mOhm	35	35 mOhm	58 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.993 Ohm; 300Hz	100.000 Ohm	7 mOhm	20	35 mOhm	58 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.994 Ohm; 500Hz	100.000 Ohm	6 mOhm	17	35 mOhm	58 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 1kHz	100.00 Ohm	10 mOhm	27	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 3kHz	100.00 Ohm	8 mOhm	22	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 5kHz	100.00 Ohm	9 mOhm	25	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 10kHz	100.00 Ohm	11 mOhm	31	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.98 Ohm; 30kHz	100.00 Ohm	19 mOhm	53	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.98 Ohm; 50kHz	100.00 Ohm	19 mOhm	55	35 mOhm	115 mOhm	?
<RP-R4W	100 Ohm	99.96 Ohm; 100kHz	100.00 Ohm	37 mOhm	107	35 mOhm	173 mOhm	?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00003 kOhm; 30Hz	1.00000 kOhm	-0.03 Ohm	-17	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	0.99999 kOhm; 50Hz	1.00000 kOhm	0.01 Ohm	7	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00001 kOhm; 100Hz	1.00000 kOhm	-0.01 Ohm	-3	0.20 Ohm	0.58 Ohm	~?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00004 kOhm; 300Hz	1.00000 kOhm	-0.04 Ohm	-18	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00003 kOhm; 500Hz	1.00000 kOhm	-0.03 Ohm	-15	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00002 kOhm; 1kHz	1.00000 kOhm	-0.02 Ohm	-9	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	1.00000 kOhm; 3kHz	1.00000 kOhm	-0.00 Ohm	0	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	0.99998 kOhm; 5kHz	1.00000 kOhm	0.02 Ohm	12	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	0.99988 kOhm; 10kHz	1.00000 kOhm	0.12 Ohm	58	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	0.99951 kOhm; 30kHz	1.00000 kOhm	0.49 Ohm	243	0.20 Ohm	0.58 Ohm	?
<RP-R4W	1 kOhm	0.99916 kOhm; 50kHz	1.00000 kOhm	0.85 Ohm	423	0.20 Ohm	0.58 Ohm	*
<RP-R4W	1 kOhm	0.9984 kOhm; 100kHz	1.0000 kOhm	1.6 Ohm	775	0.2 Ohm	1.2 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	10.0001 kOhm; 30Hz	10.0000 kOhm	-0.1 Ohm	-7	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	9.9998 kOhm; 50Hz	10.0000 kOhm	0.2 Ohm	10	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	9.9999 kOhm; 100Hz	10.0000 kOhm	0.1 Ohm	5	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	10.0006 kOhm; 300Hz	10.0000 kOhm	-0.6 Ohm	-29	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	10.0013 kOhm; 500Hz	10.0000 kOhm	-1.3 Ohm	-65	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	10.0040 kOhm; 1kHz	10.0000 kOhm	-3.9 Ohm	-198	2.0 Ohm	5.8 Ohm	?
<RP-R4W	10 kOhm	10.0199 kOhm; 3kHz	10.0000 kOhm	-19.9 Ohm	-995	2.0 Ohm	5.8 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	10.0397 kOhm; 5kHz	10.0000 kOhm	-39.7 Ohm	-999	2.0 Ohm	5.8 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	10.106 kOhm; 10kHz	10.000 kOhm	-106 Ohm	-999	2 Ohm	12 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	10.509 kOhm; 30kHz	10.000 kOhm	-509 Ohm	-999	2 Ohm	12 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	11.062 kOhm; 50kHz	10.000 kOhm	-1062 Ohm	-999	2 Ohm	13 Ohm	*
<RP-R4W	10 kOhm	13.021 kOhm; 100kHz	10.000 kOhm	-3021 Ohm	-999	2 Ohm	30 Ohm	*
<RP-R4W	100 kOhm	100.0 kOhm; 30Hz	100.0 kOhm	3 Ohm	17	20 Ohm	5773 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.0 kOhm; 50Hz	100.0 kOhm	5 Ohm	24	20 Ohm	5773 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.0 kOhm; 100Hz	100.0 kOhm	4 Ohm	18	20 Ohm	1155 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.0 kOhm; 300Hz	100.0 kOhm	-1 Ohm	-7	20 Ohm	1155 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.0 kOhm; 500Hz	100.0 kOhm	-8 Ohm	-40	20 Ohm	1155 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.03 kOhm; 1kHz	100.00 kOhm	-35 Ohm	-173	20 Ohm	809 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.35 kOhm; 3kHz	100.00 kOhm	-345 Ohm	-999	20 Ohm	811 Ohm	?
<RP-R4W	100 kOhm	100.97 kOhm; 5kHz	100.00 kOhm	-970 Ohm	-999	20 Ohm	816 Ohm	*
<RP-R4W	100 kOhm	103.95 kOhm; 10kHz	100.00 kOhm	-3945 Ohm	-999	20 Ohm	840 Ohm	*
<RP-R4W	100 kOhm	139.2 kOhm; 30kHz	100.0 kOhm	-39203 Ohm	-999	20 Ohm	1125 Ohm	*
<RP-R4W	100 kOhm	229.0 kOhm; 50kHz	100.0 kOhm	-129039 Ohm	-999	20 Ohm	1851 Ohm	*
<RP-R4W	100 kOhm	1018.2 kOhm; 100kHz	100.0 kOhm	-918217 Ohm	-999	20 Ohm	8232 Ohm	*
<RP-R4W	1 MOhm	1.000 MOhm; 30Hz	1.000 MOhm	0 kOhm	38	0 kOhm	58 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.000 MOhm; 50Hz	1.000 MOhm	0 kOhm	29	0 kOhm	58 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.000 MOhm; 100Hz	1.000 MOhm	0 kOhm	39	0 kOhm	12 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.000 MOhm; 300Hz	1.000 MOhm	0 kOhm	59	0 kOhm	12 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.000 MOhm; 500Hz	1.000 MOhm	-0 kOhm	-18	0 kOhm	12 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.0012 MOhm; 1kHz	1.0000 MOhm	-1.2 kOhm	-576	0.2 kOhm	8.1 kOhm	?
<RP-R4W	1 MOhm	1.0173 MOhm; 3kHz	1.0000 MOhm	-17.3 kOhm	-999	0.2 kOhm	8.2 kOhm	*
<RP-R4W	1 MOhm	1.0525 MOhm; 5kHz	1.0000 MOhm	-52.5 kOhm	-999	0.2 kOhm	8.5 kOhm	*
<RP-R4W	1 MOhm	1.2241 MOhm; 10kHz	1.0000 MOhm	-224.1 kOhm	-999	0.2 kOhm	9.9 kOhm	*
<RP-R4W	1 MOhm	1.962 MOhm; 30kHz	1.000 MOhm	-962 kOhm	-999	0 kOhm	16 kOhm	*
<RP-R4W	1 MOhm	1.1110 MOhm; 50kHz	1.0000 MOhm	-111.0 kOhm	-999	0.2 kOhm	9.0 kOhm	*
<RP-R4W	1 MOhm	0.6516 MOhm; 100kHz	1.0000 MOhm	348.4 kOhm	999	0.2 kOhm	5.3 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	9.99 MOhm; 30Hz	10.00 MOhm	9 kOhm	174	5 kOhm	577 kOhm	?
<RP-R4W	10 MOhm	10.00 MOhm; 50Hz	10.00 MOhm	3 kOhm	68	5 kOhm	577 kOhm	?

<RP-R4W	10 MOhm	9.99 MOhm; 100Hz	10.00 MOhm	13 kOhm	258	5 kOhm	115 kOhm	?
<RP-R4W	10 MOhm	9.95 MOhm; 300Hz	10.00 MOhm	54 kOhm	999	5 kOhm	115 kOhm	?
<RP-R4W	10 MOhm	9.90 MOhm; 500Hz	10.00 MOhm	98 kOhm	999	5 kOhm	114 kOhm	?
<RP-R4W	10 MOhm	9.771 MOhm; 1kHz	10.000 MOhm	229 kOhm	999	5 kOhm	79 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	9.003 MOhm; 3kHz	10.000 MOhm	997 kOhm	999	5 kOhm	73 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	8.064 MOhm; 5kHz	10.000 MOhm	1936 kOhm	999	5 kOhm	65 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	5.792 MOhm; 10kHz	10.000 MOhm	4208 kOhm	999	5 kOhm	47 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	2.008 MOhm; 30kHz	10.000 MOhm	7992 kOhm	999	5 kOhm	16 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	1.1167 MOhm; 50kHz	10.0000 MOhm	8883.3 kOhm	999	5.0 kOhm	9.0 kOhm	*
<RP-R4W	10 MOhm	0.5739 MOhm; 100kHz	10.0000 MOhm	9426.1 kOhm	999	5.0 kOhm	4.6 kOhm	*
<RS-R4W	100 mOhm	86.0 mOhm; 30Hz	100.0 mOhm	13981 uOhm	93	15050 uOhm	4967 uOhm	?
<RS-R4W	100 mOhm	86.2 mOhm; 50Hz	100.0 mOhm	13796 uOhm	92	15050 uOhm	4977 uOhm	?
<RS-R4W	100 mOhm	86.4 mOhm; 100Hz	100.0 mOhm	13571 uOhm	90	15050 uOhm	1000 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	86.14 mOhm; 300Hz	100.00 mOhm	13856 uOhm	92	15050 uOhm	995 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	85.93 mOhm; 500Hz	100.00 mOhm	14074 uOhm	94	15050 uOhm	992 uOhm	?
<RS-R4W	100 mOhm	85.92 mOhm; 1kHz	100.00 mOhm	14078 uOhm	94	15050 uOhm	695 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	86.00 mOhm; 3kHz	100.00 mOhm	13999 uOhm	93	15050 uOhm	695 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	85.94 mOhm; 5kHz	100.00 mOhm	14064 uOhm	93	15050 uOhm	695 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	85.92 mOhm; 10kHz	100.00 mOhm	14081 uOhm	94	15050 uOhm	695 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	86.30 mOhm; 30kHz	100.00 mOhm	13699 uOhm	91	15050 uOhm	698 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	86.56 mOhm; 50kHz	100.00 mOhm	13442 uOhm	89	15050 uOhm	700 uOhm	ok
<RS-R4W	100 mOhm	87.04 mOhm; 100kHz	100.00 mOhm	12961 uOhm	86	15050 uOhm	704 uOhm	ok
<RS-R4W	1 Ohm	0.9839 Ohm; 30Hz	1.0000 Ohm	16.1 mOhm	104	15.5 mOhm	4.5 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9841 Ohm; 50Hz	1.0000 Ohm	15.9 mOhm	103	15.5 mOhm	4.5 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9843 Ohm; 100Hz	1.0000 Ohm	15.7 mOhm	101	15.5 mOhm	3.4 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9843 Ohm; 300Hz	1.0000 Ohm	15.7 mOhm	101	15.5 mOhm	3.4 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9843 Ohm; 500Hz	1.0000 Ohm	15.7 mOhm	102	15.5 mOhm	3.4 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9843 Ohm; 1kHz	1.0000 Ohm	15.7 mOhm	101	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9846 Ohm; 3kHz	1.0000 Ohm	15.4 mOhm	99	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9847 Ohm; 5kHz	1.0000 Ohm	15.3 mOhm	99	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9846 Ohm; 10kHz	1.0000 Ohm	15.4 mOhm	99	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9855 Ohm; 30kHz	1.0000 Ohm	14.5 mOhm	93	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9864 Ohm; 50kHz	1.0000 Ohm	13.6 mOhm	87	15.5 mOhm	2.8 mOhm	?
<RS-R4W	1 Ohm	0.9883 Ohm; 100kHz	1.0000 Ohm	11.7 mOhm	76	15.5 mOhm	3.4 mOhm	ok
<RS-R4W	10 Ohm	9.9833 Ohm; 30Hz	10.0000 Ohm	16.7 mOhm	98	17.0 mOhm	5.8 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.9832 Ohm; 50Hz	10.0000 Ohm	16.8 mOhm	99	17.0 mOhm	5.8 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.9835 Ohm; 100Hz	10.0000 Ohm	16.5 mOhm	97	17.0 mOhm	5.8 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.9837 Ohm; 300Hz	10.0000 Ohm	16.3 mOhm	96	17.0 mOhm	5.8 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.9837 Ohm; 500Hz	10.0000 Ohm	16.3 mOhm	96	17.0 mOhm	5.8 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.984 Ohm; 1kHz	10.000 Ohm	16 mOhm	96	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.984 Ohm; 3kHz	10.000 Ohm	16 mOhm	92	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.985 Ohm; 5kHz	10.000 Ohm	15 mOhm	90	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.985 Ohm; 10kHz	10.000 Ohm	15 mOhm	86	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.986 Ohm; 30kHz	10.000 Ohm	14 mOhm	80	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.989 Ohm; 50kHz	10.000 Ohm	11 mOhm	64	17 mOhm	12 mOhm	?
<RS-R4W	10 Ohm	9.993 Ohm; 100kHz	10.000 Ohm	7 mOhm	38	17 mOhm	17 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.986 Ohm; 30Hz	100.000 Ohm	14 mOhm	41	35 mOhm	58 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.984 Ohm; 50Hz	100.000 Ohm	16 mOhm	45	35 mOhm	58 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.989 Ohm; 100Hz	100.000 Ohm	11 mOhm	32	35 mOhm	58 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.992 Ohm; 300Hz	100.000 Ohm	8 mOhm	23	35 mOhm	58 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.992 Ohm; 500Hz	100.000 Ohm	8 mOhm	24	35 mOhm	58 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 1kHz	100.00 Ohm	7 mOhm	20	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 3kHz	100.00 Ohm	7 mOhm	19	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 5kHz	100.00 Ohm	7 mOhm	21	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.99 Ohm; 10kHz	100.00 Ohm	9 mOhm	27	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.98 Ohm; 30kHz	100.00 Ohm	17 mOhm	47	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.98 Ohm; 50kHz	100.00 Ohm	22 mOhm	63	35 mOhm	115 mOhm	?
<RS-R4W	100 Ohm	99.96 Ohm; 100kHz	100.00 Ohm	37 mOhm	107	35 mOhm	173 mOhm	?
<CP-R4W	100 pF	-355 pF; 100ohm,30Hz						
<CP-R4W	100 pF	62 pF; 100ohm,50Hz						
<CP-R4W	100 pF	130 pF; 100ohm,100Hz						
<CP-R4W	100 pF	100 pF; 100ohm,300Hz						
<CP-R4W	100 pF	94 pF; 100ohm,500Hz						
<CP-R4W	100 pF	2 pF; 100ohm,1kHz						
<CP-R4W	100 pF	72 pF; 100ohm,3kHz						
<CP-R4W	100 pF	78 pF; 100ohm,5kHz						
<CP-R4W	100 pF	78 pF; 100ohm,10kHz						
<CP-R4W	100 pF	76 pF; 100ohm,30kHz						

<CP-R4W	100 pF	74 pF; 100ohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	71 pF; 100ohm,100kHz
<CP-R4W	100 pF	73 pF; 1kohm,30Hz
<CP-R4W	100 pF	112 pF; 1kohm,50Hz
<CP-R4W	100 pF	91 pF; 1kohm,100Hz
<CP-R4W	100 pF	87 pF; 1kohm,300Hz
<CP-R4W	100 pF	85 pF; 1kohm,500Hz
<CP-R4W	100 pF	76 pF; 1kohm,1kHz
<CP-R4W	100 pF	82 pF; 1kohm,3kHz
<CP-R4W	100 pF	82 pF; 1kohm,5kHz
<CP-R4W	100 pF	82 pF; 1kohm,10kHz
<CP-R4W	100 pF	80 pF; 1kohm,30kHz
<CP-R4W	100 pF	79 pF; 1kohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	77 pF; 1kohm,100kHz
<CP-R4W	100 pF	-75 pF; 10kohm,30Hz
<CP-R4W	100 pF	-67 pF; 10kohm,50Hz
<CP-R4W	100 pF	-70 pF; 10kohm,100Hz
<CP-R4W	100 pF	-71 pF; 10kohm,300Hz
<CP-R4W	100 pF	-70 pF; 10kohm,500Hz
<CP-R4W	100 pF	-69 pF; 10kohm,1kHz
<CP-R4W	100 pF	-63 pF; 10kohm,3kHz
<CP-R4W	100 pF	-59 pF; 10kohm,5kHz
<CP-R4W	100 pF	-54 pF; 10kohm,10kHz
<CP-R4W	100 pF	-40 pF; 10kohm,30kHz
<CP-R4W	100 pF	-31 pF; 10kohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	-15 pF; 10kohm,100kHz
<CP-R4W	100 pF	6 pF; 100kohm,30Hz
<CP-R4W	100 pF	7 pF; 100kohm,50Hz
<CP-R4W	100 pF	6 pF; 100kohm,100Hz
<CP-R4W	100 pF	6 pF; 100kohm,300Hz
<CP-R4W	100 pF	6 pF; 100kohm,500Hz
<CP-R4W	100 pF	6 pF; 100kohm,1kHz
<CP-R4W	100 pF	7 pF; 100kohm,3kHz
<CP-R4W	100 pF	7 pF; 100kohm,5kHz
<CP-R4W	100 pF	7 pF; 100kohm,10kHz
<CP-R4W	100 pF	14 pF; 100kohm,30kHz
<CP-R4W	100 pF	22 pF; 100kohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	34 pF; 100kohm,100kHz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,30Hz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,50Hz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,100Hz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,300Hz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,500Hz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,1kHz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,3kHz
<CP-R4W	100 pF	35 pF; 1Mohm,5kHz
<CP-R4W	100 pF	36 pF; 1Mohm,10kHz
<CP-R4W	100 pF	41 pF; 1Mohm,30kHz
<CP-R4W	100 pF	41 pF; 1Mohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	39 pF; 1Mohm,100kHz
<CP-R4W	100 pF	48 pF; 10Mohm,30Hz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,50Hz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,100Hz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,300Hz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,500Hz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,1kHz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,3kHz
<CP-R4W	100 pF	47 pF; 10Mohm,5kHz
<CP-R4W	100 pF	46 pF; 10Mohm,10kHz
<CP-R4W	100 pF	45 pF; 10Mohm,30kHz
<CP-R4W	100 pF	44 pF; 10Mohm,50kHz
<CP-R4W	100 pF	42 pF; 10Mohm,100kHz
<LS-R4W	100 nH	-84 nH; 100mohm,30Hz
<LS-R4W	100 nH	-132 nH; 100mohm,50Hz
<LS-R4W	100 nH	-49 nH; 100mohm,100Hz
<LS-R4W	100 nH	-185 nH; 100mohm,300Hz
<LS-R4W	100 nH	-100 nH; 100mohm,500Hz
<LS-R4W	100 nH	-60 nH; 100mohm,1kHz

<LS-R4W	100 nH	-107 nH; 100mohm,3kHz
<LS-R4W	100 nH	-171 nH; 100mohm,5kHz
<LS-R4W	100 nH	-119 nH; 100mohm,10kHz
<LS-R4W	100 nH	-36 nH; 100mohm,30kHz
<LS-R4W	100 nH	-25 nH; 100mohm,50kHz
<LS-R4W	100 nH	-107 nH *

* Podminky: 100mohm,100kHz

<LS-R4W	100 nH	112 nH; 1ohm,30Hz
<LS-R4W	100 nH	147 nH; 1ohm,50Hz
<LS-R4W	100 nH	174 nH; 1ohm,100Hz
<LS-R4W	100 nH	100 nH; 1ohm,300Hz
<LS-R4W	100 nH	128 nH; 1ohm,500Hz
<LS-R4W	100 nH	167 nH; 1ohm,1kHz
<LS-R4W	100 nH	243 nH; 1ohm,3kHz
<LS-R4W	100 nH	124 nH; 1ohm,5kHz
<LS-R4W	100 nH	160 nH; 1ohm,10kHz
<LS-R4W	100 nH	118 nH; 1ohm,30kHz
<LS-R4W	100 nH	283 nH; 1ohm,50kHz
<LS-R4W	100 nH	141 nH; 1ohm,100kHz
<LS-R4W	100 nH	977 nH; 10ohm,30Hz
<LS-R4W	100 nH	1055 nH; 10ohm,50Hz
<LS-R4W	100 nH	874 nH; 10ohm,100Hz
<LS-R4W	100 nH	842 nH; 10ohm,300Hz
<LS-R4W	100 nH	462 nH; 10ohm,500Hz
<LS-R4W	100 nH	610 nH; 10ohm,1kHz
<LS-R4W	100 nH	683 nH; 10ohm,3kHz
<LS-R4W	100 nH	676 nH; 10ohm,5kHz
<LS-R4W	100 nH	172 nH; 10ohm,10kHz
<LS-R4W	100 nH	168 nH; 10ohm,30kHz
<LS-R4W	100 nH	367 nH; 10ohm,50kHz
<LS-R4W	100 nH	798 nH; 10ohm,100kHz
<LS-R4W	100 nH	-1171 nH; 100ohm,30Hz
<LS-R4W	100 nH	-1372 nH; 100ohm,50Hz
<LS-R4W	100 nH	-1176 nH; 100ohm,100Hz
<LS-R4W	100 nH	-1113 nH; 100ohm,300Hz
<LS-R4W	100 nH	-1093 nH; 100ohm,500Hz
<LS-R4W	100 nH	-962 nH; 100ohm,1kHz
<LS-R4W	100 nH	-1057 nH; 100ohm,3kHz
<LS-R4W	100 nH	-1199 nH; 100ohm,5kHz
<LS-R4W	100 nH	-1285 nH; 100ohm,10kHz
<LS-R4W	100 nH	-1198 nH; 100ohm,30kHz
<LS-R4W	100 nH	-1167 nH; 100ohm,50kHz
<LS-R4W	100 nH	-1205 nH *

* Podminky: 100ohm,100kHz

<Z-R4W	100 mohm	85.8 mohm; 30Hz	100.0 mohm	14204 uohm	94	15050 uohm	4954 uohm	?
<Z-R4W	100 mohm	86.2 mohm; 50Hz	100.0 mohm	13751 uohm	91	15050 uohm	4980 uohm	?
<Z-R4W	100 mohm	86.6 mohm; 100Hz	100.0 mohm	13404 uohm	89	15050 uohm	1002 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	86.00 mohm; 300Hz	100.00 mohm	13999 uohm	93	15050 uohm	993 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	85.90 mohm; 500Hz	100.00 mohm	14098 uohm	94	15050 uohm	992 uohm	?
<Z-R4W	100 mohm	85.82 mohm; 1kHz	100.00 mohm	14183 uohm	94	15050 uohm	694 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	86.00 mohm; 3kHz	100.00 mohm	14003 uohm	93	15050 uohm	695 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	86.01 mohm; 5kHz	100.00 mohm	13989 uohm	93	15050 uohm	695 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	85.97 mohm; 10kHz	100.00 mohm	14026 uohm	93	15050 uohm	695 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	88.39 mohm; 30kHz	100.00 mohm	11615 uohm	77	15050 uohm	715 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	92.86 mohm; 50kHz	100.00 mohm	7140 uohm	47	15050 uohm	751 uohm	ok
<Z-R4W	100 mohm	110.14 mohm; 100kHz	100.00 mohm	-10138 uohm	-67	15050 uohm	890 uohm	ok
<Z-R4W	1 ohm	0.9839 ohm; 30Hz	1.0000 ohm	16.1 mohm	104	15.5 mohm	4.5 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9840 ohm; 50Hz	1.0000 ohm	16.0 mohm	103	15.5 mohm	4.5 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9843 ohm; 100Hz	1.0000 ohm	15.7 mohm	101	15.5 mohm	3.4 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9842 ohm; 300Hz	1.0000 ohm	15.8 mohm	102	15.5 mohm	3.4 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9842 ohm; 500Hz	1.0000 ohm	15.8 mohm	102	15.5 mohm	3.4 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9844 ohm; 1kHz	1.0000 ohm	15.6 mohm	100	15.5 mohm	2.8 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9846 ohm; 3kHz	1.0000 ohm	15.4 mohm	99	15.5 mohm	2.8 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9846 ohm; 5kHz	1.0000 ohm	15.4 mohm	99	15.5 mohm	2.8 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9847 ohm; 10kHz	1.0000 ohm	15.3 mohm	99	15.5 mohm	2.8 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9859 ohm; 30kHz	1.0000 ohm	14.1 mohm	91	15.5 mohm	2.8 mohm	?
<Z-R4W	1 ohm	0.9875 ohm; 50kHz	1.0000 ohm	12.5 mohm	81	15.5 mohm	2.9 mohm	ok
<Z-R4W	1 ohm	0.9923 ohm; 100kHz	1.0000 ohm	7.7 mohm	50	15.5 mohm	3.4 mohm	ok

<Z-R4W	10 ohm	9.9828 ohm; 30Hz	10.0000 ohm	17.2 mohm	101	17.0 mohm	5.8 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.9825 ohm; 50Hz	10.0000 ohm	17.5 mohm	103	17.0 mohm	5.8 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.9827 ohm; 100Hz	10.0000 ohm	17.3 mohm	102	17.0 mohm	5.8 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.9831 ohm; 300Hz	10.0000 ohm	16.9 mohm	100	17.0 mohm	5.8 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.9830 ohm; 500Hz	10.0000 ohm	17.0 mohm	100	17.0 mohm	5.8 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.983 ohm; 1kHz	10.000 ohm	17 mohm	99	17 mohm	12 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.984 ohm; 3kHz	10.000 ohm	16 mohm	95	17 mohm	12 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.984 ohm; 5kHz	10.000 ohm	16 mohm	93	17 mohm	12 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.985 ohm; 10kHz	10.000 ohm	15 mohm	91	17 mohm	12 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	7.9200 ohm; 30kHz	10.0000 ohm	-7.9 mohm	-999	17.0 mohm	2.6 mohm	*
<Z-R4W	10 ohm	9.989 ohm; 50kHz	10.000 ohm	11 mohm	66	17 mohm	12 mohm	?
<Z-R4W	10 ohm	9.994 ohm; 100kHz	10.000 ohm	6 mohm	38	17 mohm	17 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.987 ohm; 30Hz	100.000 ohm	13 mohm	37	35 mohm	58 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.985 ohm; 50Hz	100.000 ohm	15 mohm	43	35 mohm	58 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.988 ohm; 100Hz	100.000 ohm	12 mohm	34	35 mohm	58 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.990 ohm; 300Hz	100.000 ohm	10 mohm	29	35 mohm	58 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.992 ohm; 500Hz	100.000 ohm	8 mohm	22	35 mohm	58 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.99 ohm; 1kHz	100.00 ohm	9 mohm	26	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.99 ohm; 3kHz	100.00 ohm	6 mohm	17	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.99 ohm; 5kHz	100.00 ohm	7 mohm	21	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.99 ohm; 10kHz	100.00 ohm	8 mohm	23	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.98 ohm; 30kHz	100.00 ohm	17 mohm	48	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.98 ohm; 50kHz	100.00 ohm	23 mohm	64	35 mohm	115 mohm	?
<Z-R4W	100 ohm	99.96 ohm; 100kHz	100.00 ohm	38 mohm	108	35 mohm	173 mohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00004 kohm; 30Hz	1.00000 kohm	-0.04 ohm	-21	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00001 kohm; 50Hz	1.00000 kohm	-0.01 ohm	-7	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00004 kohm; 100Hz	1.00000 kohm	-0.04 ohm	-19	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00005 kohm; 300Hz	1.00000 kohm	-0.05 ohm	-23	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00005 kohm; 500Hz	1.00000 kohm	-0.05 ohm	-24	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00002 kohm; 1kHz	1.00000 kohm	-0.02 ohm	-9	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	1.00001 kohm; 3kHz	1.00000 kohm	-0.01 ohm	-5	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	0.99998 kohm; 5kHz	1.00000 kohm	0.02 ohm	11	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	0.99987 kohm; 10kHz	1.00000 kohm	0.13 ohm	67	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	0.99941 kohm; 30kHz	1.00000 kohm	0.59 ohm	295	0.20 ohm	0.58 ohm	?
<Z-R4W	1 kohm	0.99888 kohm; 50kHz	1.00000 kohm	1.13 ohm	563	0.20 ohm	0.58 ohm	*
<Z-R4W	1 kohm	0.9973 kohm; 100kHz	1.0000 kohm	2.7 ohm	999	0.2 ohm	1.2 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	9.9999 kohm; 30Hz	10.0000 kohm	0.1 ohm	3	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	9.9999 kohm; 50Hz	10.0000 kohm	0.1 ohm	7	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	9.9999 kohm; 100Hz	10.0000 kohm	0.1 ohm	5	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	10.0006 kohm; 300Hz	10.0000 kohm	-0.6 ohm	-30	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	10.0013 kohm; 500Hz	10.0000 kohm	-1.3 ohm	-65	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	10.0039 kohm; 1kHz	10.0000 kohm	-3.9 ohm	-195	2.0 ohm	5.8 ohm	?
<Z-R4W	10 kohm	10.0193 kohm; 3kHz	10.0000 kohm	-19.3 ohm	-965	2.0 ohm	5.8 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	10.0381 kohm; 5kHz	10.0000 kohm	-38.0 ohm	-999	2.0 ohm	5.8 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	10.100 kohm; 10kHz	10.000 kohm	-100 ohm	-999	2 ohm	12 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	10.477 kohm; 30kHz	10.000 kohm	-477 ohm	-999	2 ohm	12 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	10.999 kohm; 50kHz	10.000 kohm	-999 ohm	-999	2 ohm	13 ohm	*
<Z-R4W	10 kohm	12.935 kohm; 100kHz	10.000 kohm	-2935 ohm	-999	2 ohm	30 ohm	*
<Z-R4W	100 kohm	100.0 kohm; 30Hz	100.0 kohm	2 ohm	10	20 ohm	5773 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.0 kohm; 50Hz	100.0 kohm	3 ohm	14	20 ohm	5773 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.0 kohm; 100Hz	100.0 kohm	2 ohm	8	20 ohm	1155 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.0 kohm; 300Hz	100.0 kohm	-3 ohm	-15	20 ohm	1155 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.0 kohm; 500Hz	100.0 kohm	-9 ohm	-47	20 ohm	1155 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.04 kohm; 1kHz	100.00 kohm	-36 ohm	-180	20 ohm	809 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.34 kohm; 3kHz	100.00 kohm	-341 ohm	-999	20 ohm	811 ohm	?
<Z-R4W	100 kohm	100.95 kohm; 5kHz	100.00 kohm	-948 ohm	-999	20 ohm	816 ohm	*
<Z-R4W	100 kohm	103.83 kohm; 10kHz	100.00 kohm	-3833 ohm	-999	20 ohm	839 ohm	*
<Z-R4W	100 kohm	130.5 kohm; 30kHz	100.0 kohm	-30507 ohm	-999	20 ohm	1055 ohm	*
<Z-R4W	100 kohm	120.96 kohm; 50kHz	100.00 kohm	-20955 ohm	-999	20 ohm	978 ohm	*
<Z-R4W	100 kohm	46.85 kohm; 100kHz	100.00 kohm	53147 ohm	999	20 ohm	379 ohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	1.000 Mohm; 30Hz	1.000 Mohm	0 kohm	57	0 kohm	58 kohm	?
<Z-R4W	1 Mohm	1.000 Mohm; 50Hz	1.000 Mohm	0 kohm	59	0 kohm	58 kohm	?
<Z-R4W	1 Mohm	1.000 Mohm; 100Hz	1.000 Mohm	0 kohm	173	0 kohm	12 kohm	?
<Z-R4W	1 Mohm	0.998 Mohm; 300Hz	1.000 Mohm	2 kohm	999	0 kohm	12 kohm	?
<Z-R4W	1 Mohm	0.994 Mohm; 500Hz	1.000 Mohm	6 kohm	999	0 kohm	11 kohm	?
<Z-R4W	1 Mohm	0.9778 Mohm; 1kHz	1.0000 Mohm	22.2 kohm	999	0.2 kohm	7.9 kohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	0.8449 Mohm; 3kHz	1.0000 Mohm	155.1 kohm	999	0.2 kohm	6.8 kohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	0.6863 Mohm; 5kHz	1.0000 Mohm	313.7 kohm	999	0.2 kohm	5.5 kohm	*

<Z-R4W	1 Mohm	0.4136 Mohm; 10kHz	1.0000 Mohm	586.4 kohm	999	0.2 kohm	3.3 kohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	0.1303 Mohm; 30kHz	1.0000 Mohm	869.7 kohm	999	0.2 kohm	1.1 kohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	0.07727 Mohm; 50kHz	1.00000 Mohm	922.73 kohm	999	0.20 kohm	0.62 kohm	*
<Z-R4W	1 Mohm	0.04054 Mohm; 100kHz	1.00000 Mohm	959.46 kohm	999	0.20 kohm	0.33 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	9.95 Mohm; 30Hz	10.00 Mohm	49 kohm	980	5 kohm	575 kohm	?
<Z-R4W	10 Mohm	9.88 Mohm; 50Hz	10.00 Mohm	115 kohm	999	5 kohm	571 kohm	?
<Z-R4W	10 Mohm	9.57 Mohm; 100Hz	10.00 Mohm	428 kohm	999	5 kohm	111 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	7.450 Mohm; 300Hz	10.000 Mohm	2550 kohm	999	5 kohm	86 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	5.580 Mohm; 500Hz	10.000 Mohm	4420 kohm	999	5 kohm	64 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	3.199 Mohm; 1kHz	10.000 Mohm	6801 kohm	999	5 kohm	26 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	1.1250 Mohm; 3kHz	10.0000 Mohm	8875.0 kohm	999	5.0 kohm	9.1 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	0.6797 Mohm; 5kHz	10.0000 Mohm	9320.3 kohm	999	5.0 kohm	5.5 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	0.3427 Mohm; 10kHz	10.0000 Mohm	9657.3 kohm	999	5.0 kohm	2.8 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	0.11710 Mohm; 30kHz	10.00000 Mohm	9882.90 kohm	999	5.00 kohm	0.95 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	0.07185 Mohm; 50kHz	10.00000 Mohm	9928.15 kohm	999	5.00 kohm	0.58 kohm	*
<Z-R4W	10 Mohm	0.03765 Mohm; 100kHz	10.00000 Mohm	9962.35 kohm	999	5.00 kohm	0.30 kohm	*

Popis symbolů:

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

Příloha 2

M642

Programovatelná odporová dekáda



- Rozsah odporu 100.000 mΩ – 20.0000 MΩ
- Přesnost odporu +/- 200 ppm
- Maximální napětí 200 V
- Simulace odporových snímačů teploty
- Přesnost simulace teploty +/- 0.1 °C
- Uživatelské průběhy (převodní tabulka)
- RS232 (volitelně USB, LAN, IEEE488)

M642 je programovatelná odporová dekáda s rozsahem hodnot od 0.1 Ω do 20 MΩ. Základní přesnost je 0.02 %. Rozlišení pro malé hodnoty odporu je 1 μΩ. Dekáda je složena ze stabilních výkonových rezistorů s velmi malou teplotní závislostí spínaných pomocí speciálních relé s nízkým termónapětím. Vestavěný mikroprocesor umožňuje nejen přímé nastavení hodnoty odporu, ale obsahuje také závislosti běžných odporových snímačů teploty. Hodnotu simulovaného Platinového nebo Niklového teploměru lze tedy zadávat přímo ve stupních Celsia, Fahrenheita nebo v Kelvinech. Přístroj lze ovládat dálkově počítačem. Standardně je vybaven sběrnici RS232. Na vyžádání je možné doplnit také rozhraní USB, LAN a GPIB.

M642 je vybavena vlastní rekalibrační procedurou pomocí které je možné korigovat jakoukoliv odchylku hodnoty odporu bez nutnosti mechanického dostavení.

Dekáda je určena pro kontrolu parametrů ohmmetrů, regulátorů a vyhodnocovacích jednotek používajících pro měření externí odporový snímač.

M642 Přesnost odporu

Rozsah / Rozlišení	Přesnost
100.000 mΩ - 200.000 mΩ	0.05 % + 15 mΩ
200.01 mΩ - 2.00000 Ω	
2.0001 Ω - 20.0000 Ω	
20.001 Ω - 200.000 Ω	
200.01 Ω - 2000.00 Ω	0.02 %
2.0001 kΩ - 20.0000 kΩ	
20.001 kΩ - 200.000 kΩ	
0.20001 MΩ - 2.00000 MΩ	
2.0001 MΩ - 20.0000 MΩ	0.05 %

M642 Frekvenční odezva

R	Max. AC/DC rozdíl		
	100 Hz	1 kHz	10 kHz
100 mΩ	0.05 %	0.20 %	5.00 %
1 Ω	0.02 %	0.10 %	0.50 %
10 Ω	0.01 %	0.02 %	0.10 %
100 Ω	0.01 %	0.10 %	0.60 %
1 kΩ	0.06 %	0.60 %	6.00 %
10 kΩ	0.60 %	6.00 %	
100 kΩ	6.00 %		

M642 Přesnost simulace Pt

Teplota	Přesnost Pt10 ... Pt99	Přesnost Pt100 ... Pt20000
-200.000...0.000 °C	0.5 °C	0.15 °C
0.001...850.000 °C	1.0 °C	0.2 °C

M642 Přesnost simulace Ni

Teplota	Přesnost Ni10 ... Ni99	Přesnost Ni100 ... Ni20000
-60.000...300.000 °C	0.4 °C	0.1 °C

Technické údaje

Maximální napětí:	200 V pk
Maximální proud:	500 mA
Mezní výkonová ztráta:	5 W
Reakční doba:	6 ms
Způsob přepínání:	Fast / Smooth / Via short / Via open
Připojovací svorky:	zlacené banánkové zdířky 4mm
Dálkové ovládání:	sběrnice RS232 (volitelně USB, LAN, IEEE488)
Napájení:	115/230 Vac, 50/60 Hz
Referenční rozsah teplot:	+20 °C ... +26 °C
Pracovní rozsah teplot:	+5 °C ... +40 °C
Skladovací rozsah teplot:	-10 °C ... +50 °C
Rozměry:	Š 390 mm, V 128 mm, D 310 mm
Hmotnost:	4.5 kg

Standardní výbava

M642 Programovatelná odporová dekáda
Kabel RS 232
Demo program
Uživatelská příručka

Údaje pro objednávku – rozšiřující příslušenství

<i>Sběrnice</i>	M642-V1xxx - RS232 M642-V2xxx - RS232, USB, LAN, GPIB
<i>Skříň</i>	M642-Vxx0x – stolní provedení M642-Vxx1x - modul 19“, 3HE

Odpor

RESISTANCE	14:33:45	Function
▼ FAST		
100.000 Ω		
Output 100.000 Ω		
Specification 0.0340 %		
Max. Voltage 5.000 V		
Max. Current 50.0 mA		Menu

Teplota

PLATINUM	10:18:59	Function
▼ PT385 (90)	▼ FAST	
100.000 °C		
Output 138.505 Ω R0 100.000 Ω		
Specification 0.015 °C		
Max. Voltage 5.000 V		
Max. Current 42.5 mA		Menu

Rekalibrace

CALIBRATION	Previous
Resistance 1 ✓ 3?	Next
Nominal resistance 1.95 Ω	Save
Requested accuracy 1 m Ω	Close
Last calibrated 07-02-2012	
1.9443810 Ω	

Příloha 3

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Vypočteno			
R_s [Ω]	R_{E4980A} [Ω]	L_s [nH]	f [Hz]	Q [-]	D [-]	$ Z $ [Ω]	φ [°]
100 m Ω	86 m Ω	-84	30	1,84E-04	5431,48	0,0860	-0,0105
100 m Ω	86,2 m Ω	-132	50	4,81E-04	2078,66	0,0862	-0,0276
100 m Ω	86,4 m Ω	-49	100	3,56E-04	2806,32	0,0864	-0,0204
100 m Ω	86,14 m Ω	-185	300	4,05E-03	247,02	0,0861	-0,2319
100 m Ω	85,93 m Ω	-100	500	3,66E-03	273,52	0,0859	-0,2095
100 m Ω	85,92 m Ω	-60	1000	4,39E-03	227,91	0,0859	-0,2514
100 m Ω	86 m Ω	-107	3000	2,35E-02	42,64	0,0860	-1,3435
100 m Ω	85,94 m Ω	-171	5000	6,25E-02	16,00	0,0861	-3,5769
100 m Ω	85,92 m Ω	-119	10000	8,70E-02	11,49	0,0862	-4,9735
100 m Ω	86,3 m Ω	-36	30000	7,86E-02	12,72	0,0866	-4,4960
100 m Ω	86,56 m Ω	-25	50000	9,07E-02	11,02	0,0869	-5,1845
100 m Ω	87,04 m Ω	-107	100000	7,72E-01	1,29	0,1100	-37,6827
1 Ω	0,9839 Ω	112	30	2,15E-05	46604,93	0,9839	0,0012
1 Ω	0,9841 Ω	147	50	4,69E-05	21309,44	0,9841	0,0027
1 Ω	0,9843 Ω	174	100	1,11E-04	9003,23	0,9843	0,0064
1 Ω	0,9843 Ω	100	300	1,92E-04	5221,87	0,9843	0,0110
1 Ω	0,9843 Ω	128	500	4,09E-04	2447,75	0,9843	0,0234
1 Ω	0,9843 Ω	167	1000	1,07E-03	938,06	0,9843	0,0611
1 Ω	0,9846 Ω	243	3000	4,65E-03	214,96	0,9846	0,2665
1 Ω	0,9847 Ω	124	5000	3,96E-03	252,77	0,9847	0,2267
1 Ω	0,9846 Ω	160	10000	1,02E-02	97,94	0,9847	0,5850
1 Ω	0,9855 Ω	118	30000	2,26E-02	44,31	0,9858	1,2929

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Vypočteno			
R_s [Ω]	R_{E4980A} [Ω]	L_s [nH]	f [Hz]	Q [-]	D [-]	Z [Ω]	φ [°]
1 Ω	0,9864 Ω	283	50000	9,01E-02	11,09	0,9904	5,1503
1 Ω	0,9883 Ω	141	100000	8,96E-02	11,16	0,9923	5,1224
10 Ω	9,9833 Ω	977	30	1,84E-05	54209,88	9,9833	0,0011
10 Ω	9,9832 Ω	1055	50	3,32E-05	30120,86	9,9832	0,0019
10 Ω	9,9835 Ω	874	100	5,50E-05	18179,90	9,9835	0,0032
10 Ω	9,9837 Ω	842	300	1,59E-04	6290,40	9,9837	0,0091
10 Ω	9,9837 Ω	462	500	1,45E-04	6878,59	9,9837	0,0083
10 Ω	9,984 Ω	610	1000	3,84E-04	2604,92	9,9840	0,0220
10 Ω	9,984 Ω	683	3000	1,29E-03	775,50	9,9840	0,0739
10 Ω	9,985 Ω	676	5000	2,13E-03	470,17	9,9850	0,1219
10 Ω	9,985 Ω	172	10000	1,08E-03	923,93	9,9850	0,0620
10 Ω	9,986 Ω	168	30000	3,17E-03	315,34	9,9861	0,1817
10 Ω	9,989 Ω	367	50000	1,15E-02	86,64	9,9897	0,6613
10 Ω	9,993 Ω	798	100000	5,02E-02	19,93	10,0056	2,8724

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Vypočteno			
R_p [Ω]	R_{E4980A} [Ω]	C_p [pF]	f [Hz]	D [-]	Q [-]	$ Z $ [Ω]	φ [°]
100 Ω	99,988 Ω	-355	30	149459,20	6,69E-06	99,9880	0,0004
100 Ω	99,984 Ω	62	50	513485,20	1,95E-06	99,9840	-0,0001
100 Ω	99,988 Ω	130	100	122441,57	8,17E-06	99,9880	-0,0005
100 Ω	99,993 Ω	100	300	53055,36	1,88E-05	99,9930	-0,0011
100 Ω	99,994 Ω	94	500	33864,79	2,95E-05	99,9940	-0,0017
100 Ω	99,990 Ω	2	1000	795854,30	1,26E-06	99,9900	-0,0001
100 Ω	99,990 Ω	72	3000	7369,02	1,36E-04	99,9900	-0,0078
100 Ω	99,990 Ω	78	5000	4081,30	2,45E-04	99,9900	-0,0140
100 Ω	99,990 Ω	78	10000	2040,65	4,90E-04	99,9900	-0,0281
100 Ω	99,980 Ω	76	30000	698,19	1,43E-03	99,9799	-0,0821
100 Ω	99,980 Ω	74	50000	430,23	2,32E-03	99,9797	-0,1332
100 Ω	99,960 Ω	71	100000	224,25	4,46E-03	99,9590	-0,2555
1 k Ω	1,00003 k Ω	73	30	72671,31	1,38E-05	1000,0300	-0,0008
1 k Ω	0,99999 k Ω	112	50	28420,81	3,52E-05	999,9900	-0,0020
1 k Ω	1,00001 k Ω	91	100	17489,38	5,72E-05	1000,0100	-0,0033
1 k Ω	1,00004 k Ω	87	300	6097,65	1,64E-04	1000,0400	-0,0094
1 k Ω	1,00003 k Ω	85	500	3744,71	2,67E-04	1000,0300	-0,0153
1 k Ω	1,00002 k Ω	76	1000	2094,10	4,78E-04	1000,0199	-0,0274
1 k Ω	1,00000 k Ω	82	3000	646,97	1,55E-03	999,9988	-0,0886
1 k Ω	0,99998 k Ω	82	5000	388,19	2,58E-03	999,9767	-0,1476
1 k Ω	0,99988 k Ω	82	10000	194,11	5,15E-03	999,8667	-0,2952
1 k Ω	0,99951 k Ω	80	30000	66,35	1,51E-02	999,3965	-0,8635
1 k Ω	0,99916 k Ω	79	50000	40,33	2,48E-02	998,8529	-1,4205
1 k Ω	0,99840 k Ω	77	100000	20,70	4,83E-02	997,2373	-2,7654
10 k Ω	10,0001 k Ω	-75	30	7073,48	1,41E-04	10000,0999	0,0081

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			Vypočteno			
R _p [Ω]	R _{E4980A} [Ω]	C _p [pF]	f [Hz]	D [-]	Q [-]	Z [Ω]	φ [°]
10 kΩ	9,9998 kΩ	-67	50	4750,99	2,10E-04	9999,7998	0,0121
10 kΩ	9,9999 kΩ	-70	100	2273,66	4,40E-04	9999,8990	0,0252
10 kΩ	10,0006 kΩ	-71	300	747,16	1,34E-03	10000,5910	0,0767
10 kΩ	10,0013 kΩ	-70	500	454,67	2,20E-03	10001,2758	0,1260
10 kΩ	10,0040 kΩ	-69	1000	230,57	4,34E-03	10003,9059	0,2485
10 kΩ	10,0199 kΩ	-63	3000	84,04	1,19E-02	10019,1908	0,6817
10 kΩ	10,0397 kΩ	-59	5000	53,74	1,86E-02	10037,9621	1,0661
10 kΩ	10,1060 kΩ	-54	10000	29,16	3,43E-02	10100,0643	1,9638
10 kΩ	10,5090 kΩ	-40	30000	12,62	7,92E-02	10476,1650	4,5304
10 kΩ	11,0620 kΩ	-31	50000	9,28	1,08E-01	10998,3595	6,1489
10 kΩ	13,0210 kΩ	-15	100000	8,15	1,23E-01	12924,0443	6,9964
100 kΩ	100,00 kΩ	6	30	8841,94	1,13E-04	99999,9994	-0,0065
100 kΩ	100,00 kΩ	7	50	4547,28	2,20E-04	99999,9976	-0,0126
100 kΩ	100,00 kΩ	6	100	2652,58	3,77E-04	99999,9929	-0,0216
100 kΩ	100,00 kΩ	6	300	884,19	1,13E-03	99999,9360	-0,0648
100 kΩ	100,00 kΩ	6	500	530,52	1,88E-03	99999,8223	-0,1080
100 kΩ	100,03 kΩ	6	1000	265,18	3,77E-03	100029,2888	-0,2161
100 kΩ	100,35 kΩ	7	3000	75,52	1,32E-02	100341,2044	-0,7586
100 kΩ	100,97 kΩ	7	5000	45,04	2,22E-02	100945,1182	-1,2720
100 kΩ	103,95 kΩ	7	10000	21,87	4,57E-02	103841,5276	-2,6177
100 kΩ	139,20 kΩ	14	30000	2,72	3,67E-01	130663,1178	-20,1703
100 kΩ	229,00 kΩ	22	50000	0,63	1,58E+00	122317,4702	-57,7146
100 kΩ	1018,20 kΩ	34	100000	0,05	2,18E+01	46760,8873	-87,3678
1 MΩ	1,0000 MΩ	35	30	151,58	6,60E-03	999978,2382	-0,3780
1 MΩ	1,0000 MΩ	35	50	90,95	1,10E-02	999939,5542	-0,6300

Dekáda M642	Etalon Agilent E4980A			vypočteno			
R_p [Ω]	R_{E4980A} [Ω]	C_p [pF]	f [Hz]	D [-]	Q [-]	$ Z $ [Ω]	φ [°]
1 M Ω	1,0000 M Ω	35	100	45,47	2,20E-02	999758,2824	-1,2598
1 M Ω	1,0000 M Ω	35	300	15,16	6,60E-02	997830,8306	-3,7745
1 M Ω	1,0000 M Ω	35	500	9,09	1,10E-01	994009,1363	-6,2748
1 M Ω	1,0012 M Ω	35	1000	4,54	2,20E-01	977780,4418	-12,4170
1 M Ω	1,0173 M Ω	35	3000	1,49	6,71E-01	844693,6747	-33,8675
1 M Ω	1,0525 M Ω	35	5000	0,86	1,16E+00	688142,7231	-49,1700
1 M Ω	1,2241 M Ω	36	10000	0,36	2,77E+00	415809,5031	-70,1423
1 M Ω	1,9620 M Ω	41	30000	0,07	1,52E+01	129113,7819	-86,2268
1 M Ω	1,1110 M Ω	41	50000	0,07	1,43E+01	77447,6916	-86,0027
1 M Ω	0,6516 M Ω	39	100000	0,06	1,60E+01	40729,1605	-86,4163
10 M Ω	9,9900 M Ω	48	30	11,06	9,04E-02	9949439,8080	-5,1648
10 M Ω	10,0000 M Ω	47	50	6,77	1,48E-01	9892740,9107	-8,3993
10 M Ω	9,9900 M Ω	47	100	3,39	2,95E-01	9581732,1179	-16,4368
10 M Ω	9,9500 M Ω	47	300	1,13	8,81E-01	7464046,1410	-41,3962
10 M Ω	9,9000 M Ω	47	500	0,68	1,46E+00	5589733,5574	-55,6241
10 M Ω	9,7710 M Ω	47	1000	0,35	2,89E+00	3199577,3555	-70,8855
10 M Ω	9,0030 M Ω	47	3000	0,13	7,98E+00	1119990,1688	-82,8538
10 M Ω	8,0640 M Ω	47	5000	0,08	1,19E+01	674879,1357	-85,1993
10 M Ω	5,7920 M Ω	46	10000	0,06	1,67E+01	345373,3489	-86,5815
10 M Ω	2,0080 M Ω	45	30000	0,06	1,70E+01	117689,8845	-86,6399
10 M Ω	1,1167 M Ω	44	50000	0,06	1,54E+01	72191,8260	-86,2934
10 M Ω	0,5739 M Ω	42	100000	0,07	1,51E+01	37811,6975	-86,2223