


# **Příručka pro měření elektrických veličin stanovenými měřidly**

Guide for measurement of electric quantities by defined  
instruments

Miroslav Budín

Bakalářská práce  
2014

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav Budín**  
Osobní číslo: **A11784**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Příručka pro měření elektrických veličin stanovenými měřidly**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši na téma měřicí přístroje.
2. Popište metody měření fyzikálních veličin a metodiku stanovení nejistot měření.
3. Navrhněte a sestavte měřicí úlohu do předmětu Instrumentace a měření.
4. Provedte měření a vypracujte vzorový protokol o měření.
5. Vytvořte studijní podklad pro obsluhu a ovládání přístrojů, použitelný pro praktická měření v laboratoři, kde probíhá výuka předmětu Instrumentace a měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. BROŽ, Jaromír. Základy fyzikálních měření I. 2. vyd. Praha: SPN, 1983, 669 s.
2. BROŽ, Jaromír. Základy fyzikálních měření II. Část A. 1. vyd. Praha: SPN, 1972, 205 s.
3. UHDEOVÁ, Naděžda. Fyzikální praktikum. Vyd. 7. Brno: Ústav fyziky, 2002, 129 s. ISBN 80-214-2051-0.
4. NĚMEČEK, Pavel. Nejistoty měření. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008, 96 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2051-0.
5. TŮMOVÁ, Olga. Metrologie a hodnocení procesů. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 96 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-7300-249-7.
6. VLČEK, Jiří. Měření elektrických veličin. 4. dotisk 1. vyd. Praha: Jiří Vlček, 2002, 231 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-7300-249-7.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Milan Navrátil, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**7. března 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**10. června 2014**

Ve Zlíně dne 7. března 2014

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je vytvoření praktické příručky pro studenty Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. V příručce se studenti seznámí s měřicí technikou a metodami měření tak, aby své poznatky mohli v maximální míře využít při svých praktických cvičeních. Součástí příručky je také návrh laboratorní úlohy do předmětu Instrumentace a měření. V laboratořích fakulty pracují studenti jak s elektrickým, tak i bez elektrického vzdělání, proto má být tento dokument univerzální a jasně srozumitelný.

Klíčová slova: měření, veličina, přístroj.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to create a practical guide for students of the Faculty of Applied Informatics, Tomas Bata University in Zlín. The guide learns students about measurement techniques and methods of measurement so that their findings could be used to the maximum extent in their practical exercises. Part of the handbook is also design of laboratory task in the subject titled Instrumentation and Measurement. In the laboratories of faculty students are electric and non-electric educated and this document should be universal and clearly understandable.

Keywords: measurement, quantity, instrument

**Poděkování:**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Navrátilovi, Ph.D. za ochotu, velmi vstřícný přístup a také za čas, který mi věnoval při řešení mého úkolu.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu a trpělivost, kterou, v rámci studia, se mnou má.

Motto: „Důvěřuj, ale přeměřuj!“

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 POŽADAVKY NA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN</b> .....	<b>13</b>
1.1 ELEKTRICKÝ PROUD, NAPĚTÍ, ODPOR .....	13
1.1.1 Elektrický proud .....	13
1.1.2 Elektrické napětí .....	13
1.1.3 Elektrický odpor .....	14
1.2 MĚŘENÍ OSTATNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN.....	14
<b>2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE</b> .....	<b>15</b>
2.1 HISTORIE .....	15
2.1.1 Galvanoměr .....	15
2.1.2 Galvanometr .....	15
2.2 VÝROBA MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ V ČR.....	15
2.3 ROZDĚLENÍ MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ.....	16
2.3.1 Podle provedení měřicího ústrojí.....	16
2.3.1.1 Analogové: .....	16
2.3.1.2 Digitální, číslicové: .....	16
2.3.2 Podle způsobu jejich využití: .....	1718
2.3.3 Podle ukazatele měřených hodnot: .....	18
2.4 OSCIOSKOPY, DIGITÁLNÍ MULTIMETRY .....	18
2.4.1 Osciloskopy .....	18
2.4.1.1 Analogový osciloskop.....	18
2.4.1.2 Digitální osciloskop .....	19
2.4.2 Digitální multimetry .....	19
2.5 PŘÍSLUŠENSTVÍ K MĚŘICÍM PŘÍSTROJŮM .....	20
2.5.1 Předřadné rezistory, bočníky .....	20
2.5.2 Převodníky .....	20
2.5.3 Měřicí zesilovače .....	21
2.5.3.1 Druhy měřicích zesilovačů: .....	21
2.5.4 Elektronické snímače neelektrických veličin .....	21
2.5.5 Propojovací kabely, rozhraní.....	21
2.5.5.1 Rozhraní GPIB .....	22
2.6 ZNAČKY NA PŘÍSTROJÍCH.....	22
<b>3 METODY MĚŘENÍ, CHYBY MĚŘENÍ, STANOVENÍ NEJISTOTY</b> .....	<b>24</b>
3.1 PRINCIP A METODY MĚŘENÍ .....	24
3.1.1 Podle způsobu zjišťování měřené veličiny.....	25
3.1.2 Podle funkce měřicích přístrojů .....	25
3.1.3 Podle rychlosti změny měřené veličiny.....	25
3.1.4 Podle stanoveného účelu .....	25
3.1.5 Podle způsobu získání měřené hodnoty .....	26



3.2	CHYBY MĚŘENÍ .....	26
3.2.1	Systematické chyby .....	26
3.2.2	Náhodné chyby .....	26
3.2.3	Nepřesnosti měřicího přístroje .....	27
3.2.4	Chyby nepřímých měření .....	27
3.2.5	Hrubé chyby .....	27
3.2.6	Absolutní chyba .....	27
3.2.7	Relativní chyba .....	28
3.3	NEJISTOTY MĚŘENÍ .....	28
3.3.1	Nejistota typu A .....	28
3.3.2	Nejistota typu B .....	29
<b>4</b>	<b>BEZPEČNOST PRÁCE .....</b>	<b>31</b>
4.1	PRVNÍ POMOC PŘI ÚRAZU ELEKTRICKÝM PROUDEM .....	31
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>SYSTEM A PROCES MĚŘENÍ .....</b>	<b>33</b>
5.1	POSTUP PŘI MĚŘENÍ .....	33
5.1.1	Praktické pokyny při zapojování elektrických obvodů .....	33
5.2	DODRŽOVÁNÍ ZÁSAD PŘI PRÁCI V LABORATOŘÍCH .....	34
5.3	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A POMŮCKY POUŽÍVANÉ V LABORATOŘI C304 .....	34
5.3.1	DU 10 (Avomet) .....	34
5.3.2	Multimetr HP 973A .....	35
5.3.3	Multimetr M-830B .....	35
5.3.4	Digitální osciloskop DSO3062A .....	36
5.3.5	Přístroj pro měření tlaku TESTO 435 .....	36
5.3.6	LCRmetr 4263B .....	37
5.3.7	Stolní digitální multimetr 34410A .....	38
5.3.8	Čítač pulzů – 53131A .....	38
5.3.9	Generátor střídavého signálu - 33220A .....	38
5.3.10	Pasivní napěťová sonda N2862A .....	39
5.3.11	Termočlánek Carel PTCO 15W 000 .....	39
5.3.12	Teplotní čidlo TE typ K .....	40
5.3.13	kabel s rozhraním 16089D; .....	40
5.3.14	Krystal HCJ-30 krystal f. 1,8432 MHz .....	41
5.3.15	Fotodioda 1PP75 .....	41
5.3.16	LED dioda ZBO-518-090 .....	41
5.3.17	Modulátor světelného svazku SR 540 .....	42
5.3.18	Číslicově řízený zdroj - E3631A .....	42
<b>6</b>	<b>ROZDĚLENÍ MĚŘICÍCH PRACOVÍŠŤ .....</b>	<b>43</b>
6.1	PRACOVÍŠTĚ 1 .....	43
6.1.1	Použité přístroje a zařízení .....	43
6.2	PRACOVÍŠTĚ 2 .....	43
6.2.1	Použité přístroje a zařízení .....	43

6.3	PRACOVNÍŠTĚ 3.....	43
6.3.1	Použité přístroje a zařízení.....	43
6.4	PRACOVNÍŠTĚ 4.....	43
6.4.1	Použité přístroje a zařízení.....	44
6.5	PRACOVNÍŠTĚ 5.....	44
6.5.1	Použité přístroje a zařízení.....	44
<b>7</b>	<b>LABORATORNÍ ÚLOHA Č 5, PŘEDMĚTU INSTRUMENTACE A MĚŘENÍ.....</b>	<b>45</b>
7.1	OBSLUHA LABORATORNÍCH PŘÍSTROJŮ .....	45
7.2	MODUL M3B .....	45
7.2.1	Připojení modulu k přístrojům.....	46
7.3	ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝ ZDROJ E3631 .....	46
7.3.1	Čelní panel zdroje .....	46
7.4	ČÍTAČ PULZŮ – 53131A.....	48
7.4.1	Čelní panel čítače.....	48
7.5	DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP DSO3062A .....	49
7.5.1	Čelní panel osciloskopu.....	49
7.6	MĚŘENÍ FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKY FOTODIODY .....	51
7.6.1	Zadání úkolu.....	51
7.6.2	Blokové schéma propojení zařízení .....	52
7.6.3	Postup řešení úlohy.....	52
7.7	PROSTŘEDÍ AGILENT VEE PRO.....	53
7.7.1	Schéma úlohy č. 5 v prostředí VEE Pro .....	54
7.8	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	56
7.8.1	Naměřené hodnoty.....	56
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>64</b>

## ÚVOD

Měření čehokoli je spojeno se smyslovým a rozumovým vnímáním člověka zasazeného do přírody. Již naši předchůdci, když chtěli ulovit do pasti nějaké zvíře, museli vykopat jámu, která odpovídala velikosti, např. mamuta. Větve, použité pro maskování vytvořené nástrahy, musely svou délkou odpovídat rozměru otvoru vykopané jámy a optimálního přesahu. Oko člověka je tedy jakýmsi senzorem a mozek pracuje jako vyhodnocující prvek.

S rozvojem zemědělství vyvstala potřeba přesnějšího určení některých veličin, jako je délka, hmotnost, objem, čas a další. K tomu sloužily dostupné předměty nebo části lidského těla. Docházelo také k prvnímu sjednocení, jakémusi unifikování měřicích jednotek.

Měření veličin nepochybně podporuje rozvoj civilizace. Proto je také na tomto oboru krásné, že se neustále otevírají nové a nové možnosti. Kdo by si byl před několika desítkami lety pomyslel, že našim každodenním parametrem bude jednotka přenosové rychlosti bit za sekundu [bps]. Avšak stále mějme na paměti skutečnost, že všechno to, co můžeme měřit, pochází z přírody. Proto se tedy vůči přírodě chovejme tak, aby bylo i v budoucnu možno co objevovat.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 POŽADAVKY NA MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN

Potřeba měření elektrických veličin spadá do doby, kdy byly započaty první pokusy s elektrickým proudem, tedy přibližně od první poloviny 19. století. Postupem vývoje bylo zapotřebí měřicí veličiny sjednotit, a to nejen z hlediska názvosloví, ale i definování jednotek. V roce 1960 byla přijata Mezinárodní soustava jednotek SI (Le Systeme International d'Unités), která postupně dosáhla celosvětového významu. V České republice upravuje měření veličin zákon č. 505 / 1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů.

## 1.1 Elektrický proud, napětí, odpor

V elektrotechnické praxi používáme zejména tyto veličiny:

- elektrický proud, jednotka - ampér [A];
- elektrické napětí, jednotka - volt [V];
- elektrický odpor, jednotka - ohm [ $\Omega$ ].

Jednotka elektrického proudu ampér je základní jednotkou Mezinárodní soustavy jednotek SI. Jednotky elektrického napětí a elektrického odporu patří mezi jednotky odvozené.

### 1.1.1 Elektrický proud

Dle soustavy SI je velikost jednoho ampéru stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu vzdálenými od sebe 1m, vyvolá mezi nimi stálou sílu o velikosti  $2 \cdot 10^{-7}$  newtonů na 1 metr délky vodiče.

Jednotka je pojmenovaná po francouzském matematikovi a fyzikovi André-Marie Ampérovi (1775 – 1836).

### 1.1.2 Elektrické napětí

Definice elektrického napětí vychází z definice elektrického proudu. Elektrické napětí jeden volt je taková velikost, která při průchodu konstantního elektrického proudu vodičem rozptyluje výkon 1 watt. Volt je také možno definovat jako napětí, pro které je zapotřebí přemístění elektrického náboje o velikosti 1 coulomb a práce 1 joule.

Tato jednotka byla pojmenována podle slavného italského fyzika Alessandra Volty (1745 – 1827).

### **1.1.3 Elektrický odpor**

Definice elektrického odporu vychází z tzv. Ohmova zákona. Je-li na vodiči elektrické napětí o velikosti jednoho voltu a prochází jím elektrický proud jeden ampér, pak tento vodič vykazuje odpor právě 1 ohm. Původně byl jeden ohm definován jako odpor sloupce rtuti za teploty 0 °C, jehož hmotnost je 14,4521 g a délka 1063 mm. Tato definice vznikla v roce 1908, avšak v roce 1960 byla nahrazena výše uvedenou jasnější definicí.

Jednotka elektrického odporu byla pojmenována po německém fyzikovi Georgu Simonovi Ohmovi (1789 – 1854).

## **1.2 Měření ostatních elektrických veličin**

Kombinacemi měření vstupních fyzikálních veličin, například počet otáček jízdního kola za jednotku času, a jejich zpracováním, získáme výslednou hodnotu (rychlost), kterou se pohybujeme. Dnes již běžné digitální cyklometry umí měřit tepovou frekvenci srdce, kadenci šlapání, nadmořskou výšku a další.

Měříme-li současně elektrické napětí a proud, výslednou hodnotou je elektrický výkon. Spotřeba elektrické energie není nic víc, než měření elektrického proudu za jednotku času. Díky vzájemné provázanosti jednotlivých fyzikálních veličin a současnému vědeckému poznání, můžeme měřit většinu kvantitativních veličin. Pro převod a vyhodnocení měřených hodnot se již neobejdeme bez výpočetní techniky.

## **2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE**

Měřicí přístroj je technické zařízení, které slouží pro měření kvantitativního množství stanovených veličin.

### **2.1 Historie**

K prvním měřicím přístrojům lze řadit tzv. galvanoměr. Jeho počátky zasahují do doby kolem roku 1820. Název tohoto přístroje je odvozen od příjmení italského lékaře a přírodovědce Luigiho Galvani. V rámci své vědecké činnosti Luigi Galvani zkoumal odezvy žabích nervů a svalů na statickou elektřinu. Spolu s Alexandrem Voltou vytvořili teorii o živočišné elektřině, která má stejnou podstatu jako elektřina uměle vytvořená.

#### **2.1.1 Galvanoměr**

Galvanoměr se skládá z otočné cívky, která je umístěná v dosahu magnetického pole permanentního magnetu. Připojíme-li cívku ke zdroji elektrického napětí, dojde k jejímu vychýlení, a to o úroveň danou právě velikostí napětí. Aby bylo možné měřenou hodnotu odezírat, je k cívce připevněna ručička.

#### **2.1.2 Galvanometr**

Galvanometr je v podstatě galvanoměr, doplněný o stupnici, která je rozdělena do jednotlivých dílků. Rozdíl mezi galvanoměrem a galvanometrem je takový, že galvanoměr zobrazuje přítomnost napětí. Galvanometr měří velikost napětí, a to na stupnici se stanoveným rozsahem.

## **2.2 Výroba měřicích přístrojů v ČR**

V českých zemích se o vznik a vývoj měřicí techniky zasadil průmyslník, technik a vynálezce ing. Emil Roučka, který v roce 1921 založil v Blansku první továrnu na výrobu měřicích přístrojů v Rakousko-Uhersku a jednu z prvních továren v tehdejší Evropě. Ing. Emil Roučka přihlásil během svého života více než 850 patentů, z nichž převážná část se ujala do výroby. Po roce 1948 byl tento podnik přejmenován na Metra Blansko. Výrobky označené logem Metry Blansko se vyvážely do celého světa.



Obr. 1 Logo společnosti Metra Blansko [www.metrablansko.cz]

## **2.3 Rozdělení měřicích přístrojů**

Měřicí přístroje dělíme podle principu měření dané veličiny, podle ukazatele měřených hodnot a podle způsobu jejich využití v praxi.

### **2.3.1 Podle provedení měřicího ústrojí**

#### **2.3.1.1 Analogové:**

- magnetoelektrické;
- feromagnetické;
- elektrodynamické, elektrostatické;
- tepelné;
- dynamické;
- indukční.

Analogový měřicí přístroj měří danou veličinu analogovým způsobem, to znamená spojitě. Vycházejí z původního měřicího přístroje – galvanometru, avšak postupně byly zdokonalovány a využívají i jiné principy než přítomnosti cívky v magnetickém poli. Nespornou výhodou je, že se analogový přístroj nemýlí. Proto mají tyto přístroje v praxi stále velké uplatnění. Avšak platí, že čím přesnější analogový měřicí přístroj je, tím větší má také citlivost na mechanické a elektromagnetické vlivy. Jejich další nevýhodou je nízká odolnost proti nesprávnému zapojení.

#### **2.3.1.2 Digitální, číslicové:**

Znázorníme-li si požadovanou množinu hodnot na číselné ose a pak ji rozdělíme do stejně ohraničených úseků, provedli jsme takzvané vzorkování. Účelem vzorkování je dosáhnout potřebného rozlišení tak, aby nebyly přenosové cesty zbytečně zatěžovány. Shannonův



teorém říká, že dokonalá rekonstrukce signálu je pouze tehdy, pokud je vzorkovací frekvence větší, než dvojnásobek maximální frekvence vzorkovaného signálu.

Ohraničené úseky vzorkovaného signálu představují vždy kvantitativně stejnou množinu hodnot, hovoříme o kvantování. Signál tedy dělíme do kvantitativních úrovní. Není-li kvantování dostatečně jemné, vzniká tzv. kvantizační šum. Velikost kvantizačního šumu vyjadřujeme v dB.

Odstup signálu od šumu (Signal to Noise Ratio) vyjadřujeme tímto vztahem:

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{šum}}} \right)$$

Základem číslicového přístroje je tedy analogově číslicový převodník, který hodnotu vstupní veličiny převádí na konkrétní kvantitativní hodnotu ve dvojkové soustavě. Takto získaná hodnota se dále zpracovává až na výstupní zobrazovací prvek nebo jiné digitální zařízení. Citlivost takového přístroje je dána počtem bitů na vstupu převodníku. Například, pokud je vstupní převodník osmibitový, tak je schopný rozlišit  $2^8 = 128$  hodnot. Výstupem číslicového přístroje může být analogová hodnota (za použití digitálně analogového převodníku) nebo jakékoliv zařízení, které umí naměřené hodnoty ukládat do paměti a následně s nimi pracovat, například programovatelný automat. Výhodou číslicových přístrojů je jejich schopnost širokého uplatnění snad ve všech oborech lidské činnosti. Oproti analogovým přístrojům nejsou číslicové při měření závislé na poloze. Mají také vyšší odolnost proti magnetickému poli. Jsou přesnější a menší, disponují programovými funkcemi. Odečet naměřené hodnoty je jednoznačný, lze jej také ukládat do paměti událostí. Číslicové měřicí přístroje mohou spolupracovat i s ostatními přístroji a zařízeními. Porouchaný analogový měřicí přístroj většinou ihned rozpoznáme. Číslicový přístroj se nám může jevit jako funkční, avšak zobrazované hodnoty mohou být chybné, což by se dalo považovat za nevýhodu. Tato vlastnost je nepřijatelná zejména v oblasti bezpečnosti a ochrany před úrazem elektrickým proudem. Při převodu analogové veličiny na digitální vzniká určitá chybovost, chyba digitalizace. Dnešní číslicové laboratorní přístroje jsou však natolik přesné, že se, zcela běžně, používají k cejchování jiných zařízení.

### 2.3.2 Podle způsobu jejich využití:

- etalony, nejpřesnější přístroje sloužící pro ověřování laboratorních přístrojů;

- laboratorní, pro přesná měření v laboratořích a zkušebnách;
- přenosné, pro použití v dílnách nebo opravárenské praxi;
- rozváděčové, jsou trvale namontovány v rozvodnách, apod.

### 2.3.3 Podle ukazatele měřených hodnot:

- ručkové;
- číselné;
- zapisovací;
- vibrační;
- se světelnou stopou.

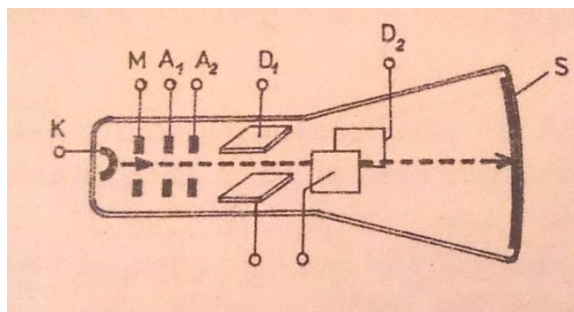
## 2.4 Osciloskopy, digitální multimetry

### 2.4.1 Osciloskopy

Osciloskop je nejrozšířenější přístroj k zobrazení periodických dějů. Zobrazovacím prvkem každého osciloskopu je obrazovka nebo displej.

#### 2.4.1.1 Analogový osciloskop

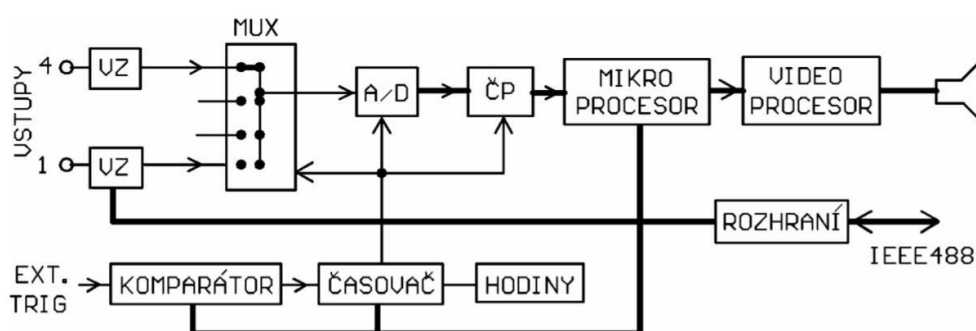
Základem analogového osciloskopu je elektronka, v níž se elektrony vystupující z katody K urychlují kladným napětím na anodách  $A_1$  a  $A_2$  a současně se soustřeďují do úzkého svazku, který dopadá na stínítko S opatřené luminiscenční látkou. Během své cesty je paprsek vychylován působením vychylovacích destiček  $D_1$  a  $D_2$  ve vzájemně kolmých směrech. [7]



Obr. 2 Schéma obrazovky osciloskopu. [7]

### 2.4.1.2 Digitální osciloskop

Digitální osciloskop převádí vstupní elektrický signál s využitím A/D převodníku. Navzorkovaný signál z převodníku se ukládá do paměti jako jednotlivé body průběhu. Signál se dále zpracovává a upravuje, např. filtrování nepotřebných rušivých frekvencí, porovnání více signálů, provádění různých matematických operací, atd. Zobrazovacím prvkem u digitálního osciloskopu již není obrazovka, ale barevný LCD displej. Digitální osciloskop může být v provedení elektronického modulu, který je připojen přes USB rozhraní k (hostitelskému) PC.



VZ – vertikální zesilovač

A/D – analogově digitální převodník

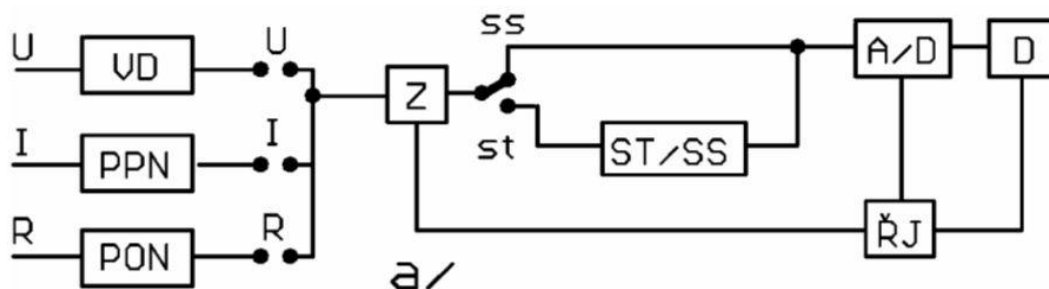
MUX – multiplexer (přepínač vstupů)

ČP – číslicová paměť

Obr. 3 Blokové schéma digitálního osciloskopu. [6]

### 2.4.2 Digitální multimetry

Digitální multimetr je elektronický měřicí přístroj, který může měřit více veličin s vysokou přesností s využitím mnoha užitečných funkcí. Digitální multimetry se vyrábějí v provedení průmyslovém, laboratorním (stolním) nebo jako ruční přístroje. U nejpřesnějších laboratorních přístrojů je rozlišení  $8^{1/2}$  digitu. Digitální multimetr nahrazuje několik měřicích přístrojů, jako je například digitální voltmetr, ampérmetr, ohmetr, měřič parametrů součástek, atd. Digitální multimetr se vyznačuje vyšší odolností proti nevhodnému zacházení, než u ostatních měřicích přístrojů.



VD – vstupní dělič napětí

PPN – bočník

PON – vstupní měřič odporu

Z – zesilovač signálu

ŘJ – řídicí jednotka

ST/SS - usměrňovač

A/D – analogově digitální převodník

D – displej

Obr. 4 Blokové schéma multimetru [6]

## 2.5 Příslušenství k měřicím přístrojům

Pod pojmem převodník rozumíme zařízení, které upravuje měřenou elektrickou veličinu na jinou elektrickou veličinu, kterou může zpracovat měřicí přístroj buď jako výslednou výchylku, nebo jako údaj na indikačním tablu. [7]

### 2.5.1 Předřadné rezistory, bočníky

Jedná se o velmi přesné rezistory. Jsou buď součástí měřicího přístroje, nebo se dají pořídit jako příslušenství. Používají se, pokud chceme měřit vyšší hodnoty, než na jaké je přístroj konstruován. Pokud měřicí přístroj nemá pro daný rezistor stanovený rozsah, je nutné výslednou hodnotu dopočítat od naměřené hodnoty.

- *Předřadný rezistor (předřadník)*, zvyšuje rozsah voltmetru. K přístroji se připojují **do série**;
- *Bočník*, zvyšuje rozsah ampérmetru. K přístroji se připojují **paralelně**.

### 2.5.2 Převodníky

Tvoří nedílnou součást číslicových měřicích přístrojů. Převádí analogovou (spojitou) veličinu na digitální. U převodu digitální veličiny na analogovou je již signál, vlivem kvantování, deformován. Pro dané účely jej však považujeme za spojitý.

- *A/D převodník* – převádí analogovou veličinu na digitální;
- *D/A převodník* – převádí digitální veličinu na analogovou.

### 2.5.3 Měřicí zesilovače

Měřená napětí a proudy jsou často příliš malé na to, aby byly měřitelné běžnými přístroji. Je nutné je tedy zesílit. Měřicí zesilovače používají operační zesilovače s uzavřenou zpětnou vazbou. Podle způsobu zapojení zpětnovazebního obvodu zesilují buď napětí, nebo proud. [8]

#### 2.5.3.1 Druhy měřících zesilovačů:

- zesilovač napětí – U/U zesilovač;
- zesilovač proudu – I/I zesilovač;
- napětím řízený zdroj proudu – U/I zesilovač;
- převodník proudu na napětí – I/U zesilovač;
- napěťový komparátor.

### 2.5.4 Elektronické snímače neelektrických veličin

Nezanedbatelnou část v oblasti měřicí techniky tvoří tzv. snímače, senzory. Připojením senzoru k elektrickému měřicímu přístroji můžeme měřit například teplotu, tlak, periodu, délkové míry a další neelektrické veličiny. Senzory mohou pracovat na principu změny elektrického odporu, kapacity, či indukčnosti. Výstupní hodnoty snímačů bývají zpravidla v řádech milivoltů, miliampérů. Pokud úroveň signálu ze senzoru nedosahují požadovaných hodnot, zapojuje se k senzoru předzesilovač. Takto upravené hodnoty zajišťují dostatečnou odolnost proti rušivým vlivům okolního prostředí, které by mohly negativním způsobem měření ovlivňovat. Získaný signál je zpracováván buď analogově, nebo je přiveden na vstup A/D převodníku číslicového měřicího přístroje, který jej dále zpracovává jako elektrickou veličinu. V současné době je možno senzory připojit na datovou sběrnici, což umožňuje získávat měřené údaje z několika míst. [10]

### 2.5.5 Propojovací kabely, rozhraní

Kromě svorek známých jako banánek, krokodýlek a další, umožňují měřicí přístroje propojení přes různá rozhraní. K nejběžnějším patří rozhraní USB, RS 232, LAN (konektor RJ 45) a další.

### 2.5.5.1 Rozhraní GPIB

General Purpose Interface Bus je datová sběrnice pro laboratorní měřicí techniku vyvinutá firmou Hewlett-Packard. Rozhraní využívá asymetrickou sběrnici s osmi vodiči řídicích signálů a osmi vodiči pro datový přenos. Zemnicí vodič je společný. Maximální délka propojovacího kabelu je 20 m. Celkový počet připojených rozhraní je 16. Rozhraní GPIB lze připojovat k zařízení za provozu.

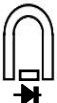


Propojovací kabely s rozhraním GPIB jsou ve variantách GPIB / GPIB, GPIB / USB. Pro připojení ke sběrnici RS 232 se používá konvertor. Konektory GPIB se vyrábějí buď jako koncové nebo průběžné, s odbočením do přístroje.





Obr. 5 Konektor rozhraní GPIB

## 2.6 Značky na přístrojích

Tabulka č. 1 – Značky na přístrojích [3]

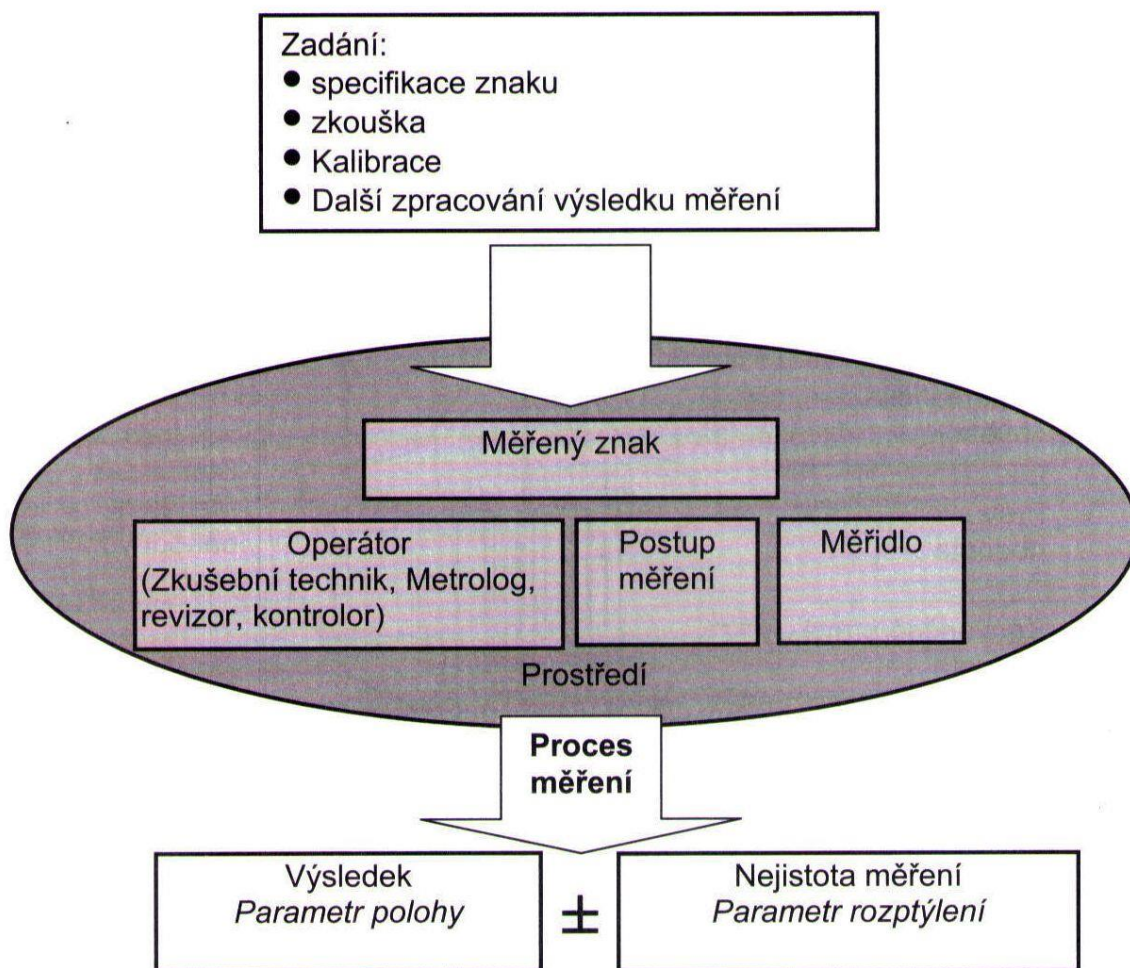
1.	$\perp$	Přístroj určený k užívání ve svislé poloze
	$\sqcap$	Přístroj určený k užívání ve vodorovné poloze
	$\sphericalangle$	Přístroj určený k používání s rovinou stupnice nakloněnou vzhledem k vodorovné poloze
2.		Magnetoelektrický přístroj s otočnou cívkou a vestavěným usměrňovačem
		Feromagnetický přístroj
		Elektrodynamický přístroj
3.	-	Přístroj určený k měření stejnosměrných veličin
	~	Přístroj určený k měření střídavých veličin

	1,5	Třída přesnosti přístroje 1,5 %
4.	0	U přístroje se neprovádí zkouška elektrické pevnosti
		Zkušební napětí 500 V
		Zkušební napětí vyšší než 500 V (1000 V)

### 3 METODY MĚŘENÍ, CHYBY MĚŘENÍ, STANOVENÍ NEJISTOTY

Cílem každého měření je stanovení vhodné metody s ohledem na maximální přesnost. U složitějších úkolů nás také zajímá potřebný čas pro vykonání celého procesu. Proto je výhodné zvolit optimální metodu měření. Každé měření vykazuje určitou míru nepřesnosti a neurčitosti tzv. chybu měření, která je ovlivňována působením hned několika faktorů. Tyto jsou popsány v dalších kapitolách. Pro zjištění velikosti chyby měření provádíme tzv. stanovení nejistoty měření.

#### System a proces měření



Obr. 6 Systém a proces měření [4]

#### 3.1 Princip a metody měření

Princip měření je souhrn fyzikálních jevů, na kterém je měření založeno. Například, využitím principu elektromagnetické indukce jsme schopni měřit elektrický proud procházející vodičem.



Měřicí metoda je sled úkonů potřebných k realizaci měření, které vycházejí z určitého měřicího principu. Měření a měřicí metody se mohou dělit podle různých hledisek. [5]

Vypsání všech metod měření by vydalo na samostatný dokument, proto jsou zde uvedeny pouze ty metody, které slouží pro účely příručky.

### 3.1.1 Podle způsobu zjišťování měřené veličiny

- **přímá** – výstupem měření je přímo údaj naměřené veličiny;
- **nepřímá** – výstupem jsou údaje jiných veličin, které slouží k výpočtu hodnoty měřené veličiny, např. měření elektrického výkonu, frekvence, aj.;
- **kontaktní** – měřicí přístroj je propojen s měřeným objektem;
- **bezkontaktní** – hodnota měřené veličiny je zjišťována bez přímého propojení, např. měření elektrického proudu klešťovým ampérmetrem.

### 3.1.2 Podle funkce měřicích přístrojů

- **výchylková** – hodnota měřené veličiny je dána výchylkou měřicího přístroje;
- **nulová** – změření veličiny je podmíněno elektrickým vyvážením měřicího přístroje do nulové hodnoty.

### 3.1.3 Podle rychlosti změny měřené veličiny

- **statická** – měřená hodnota je v ustáleném stavu;
- **dynamická** – měřená hodnota je okamžitá odezva přechodového děje.

### 3.1.4 Podle stanoveného účelu

- **výstupní** – měřená veličina slouží k ověření výsledku s požadovanými vlastnostmi, např. před uvedením do provozu;
- **kontrolní** – měřená veličina slouží k ověření výsledku měření s předepsanými hodnotami;
- **výzkumná** – měřená veličina ověřuje existenci jevů, které jsou očekávány z teoretických předpokladů;
- **vývojová** – měření hodnot nových nebo inovovaných produktů;
- **výuková** – metodická měření elektrických veličin sloužící studentům.

### 3.1.5 Podle způsobu získání měřené hodnoty

- **absolutní** – naměřená hodnota elektrické veličiny je odečtena z číselníku, displeje měřicího přístroje;
- **relativní** – odvození od absolutní metody, za účelem stanovení poměru dvou stejných elektrických veličin;
- **substituční (dosazovací)** – zařízení nahrazujeme jedním členem, jehož hodnotu známe;
- **kompenzační (vyrovnávací)** – do obvodu vložíme kompenzační člen, například z důvodu eliminace spotřeby měřicího přístroje připojujeme do elektrického obvodu vyrovnávací zdroj;
- **komparační (porovnávací)** – do elektrického obvodu vložíme člen, u kterého známe hodnotu veličiny (etalon) a měníme účinek tak, aby došlo ke srovnání hodnot známé i měřené veličiny, např. velikosti napětí;
- **diferenční (rozdílová)** – stejná jako komparační metoda, avšak porovnáváme rozdíl mezi známou a měřenou hodnotou;
- **rezonanční** – při dosažení sériové nebo paralelní rezonance střídavých elektrických obvodů měříme vlastnosti kapacity nebo indukčnosti.

## 3.2 Chyby měření

Opakujeme-li měření téže fyzikální veličiny za stejných podmínek několikrát za sebou, dostáváme zpravidla různé hodnoty. Měřené veličině přísluší však jediná hodnota. Každou odchylku naměřené hodnoty nazýváme obecně chybou. [1]

### 3.2.1 Systematické chyby

Soustavnou chybou měření se rozumí chyba, jejíž hodnota se nemění. U soustavných chyb nedovedeme popsat příčiny vzniku, k jejich odhalení dochází, až po pečlivém rozboru měření. Zdrojem soustavných chyb mohou být nesprávné měřicí metody, používané měřicí přístroje, nebo osoby provádějící měření. [3]

### 3.2.2 Náhodné chyby

Náhodné chyby ovlivňují přesnost měření nahodile. Jedná se zejména o různé vlivy prostředí například elektromagnetické pole, teplota, tlak, vlhkost, vibrace, apod. Eliminace

náhodných chyb se provádí opakováním měření, kde výsledkem je střední hodnota (aritmetický průměr) provedených měření.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.1)$$

$y$  – náhodná chyba

$n$  – počet měření

### 3.2.3 Nepřesnosti měřicího přístroje

Do nepřesností měřicího přístroje řadíme jednak chybu měřicího přístroje, chybu při odečtu hodnot ze stupnice (analogové přístroje) a u digitálních přístrojů chybu digitalizace, zaokrouhlení. Chyby přístrojů se udávají v procentech, což je relativní chyba z měřicího rozsahu. ČSN 35 6201 stanovuje řady přístrojů s udávanou třídou přesnosti 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5. Celková chyba nepřesnosti měřicího přístroje je dána součtem všech chyb.

### 3.2.4 Chyby nepřímých měření

Jak je v bodě 3.1.1. uvedeno, nepřímé měření je dáno výpočtem naměřených hodnot jiných vstupních veličin. Výsledná chyba je dána podle vztahu vstupních veličin. V případě součtu či rozdílu vstupních veličin, je výsledkem *absolutní chyba* těchto veličin. Jsou-li vstupní měřené veličiny v součinu, podílu a jejich mocnin, výsledkem je *relativní chyba* těchto veličin.

### 3.2.5 Hrubé chyby

Hrubé chyby na sebe upozorňují příliš odlišnou naměřenou hodnotou od očekávaného výsledku. Hrubé chyby tvoří skupinu faktorů, které vznikají špatnou volbou měřicího přístroje, nesprávným propojením, únavou, nesoustředěním, nedostatečných podmínek pro měření (např. nedostatečné osvětlení), ale také porušení předpisů BOZP.

### 3.2.6 Absolutní chyba

Je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou. Absolutní chyba je reálné číslo, to znamená, že může být jak kladná, tak i záporná. Absolutní chyba se dá tedy vyjádřit vztahem:

$$\Delta a = N - S$$

$\Delta a$  – absolutní chyba

$N$  – naměřená hodnota

$S$  – skutečná hodnota

### 3.2.7 Relativní chyba

Jestliže vyjádříme chybu relativně vůči naměřené veličině, docházíme k pojmu *relativní chyby* měřené veličiny. Relativní chybou měřené veličiny je poměr absolutní chyby a správné hodnoty veličiny. [2]

$$\Delta r = \frac{\Delta a}{N}$$

$\Delta r$  – relativní chyba

$\Delta a$  – absolutní chyba

$N$  – naměřená hodnota

## 3.3 Nejistoty měření

Nejistota měření je stanovená množina hodnot, v níž, s největší pravděpodobností, existuje hodnota skutečná. Nejistota měření je tedy kvantitativní pojem, který zohledňuje rámec nežádoucích příčin, které mají vliv na přesnost měření. Do nejistoty měření nelze zahrnout zanedbání úkonů potřebných pro správnost měření například, není-li měřicí přístroj správně kalibrován.

### 3.3.1 Nejistota typu A

Tato nejistota se získá vyhodnocováním série opakovaných měření. Je-li  $n$  nezávislých pozorování provedeno za stejných podmínek, je odhad výsledné hodnoty prezentován hodnotou výběrového aritmetického průměru  $\bar{X}$ . [5]

Standardní nejistota typu A  $u_A$  je dána vztahem:

Nejistota typu A

$$u_A = k_{UA} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

$s$  – směrodatná odchylka

$n$  – počet opakování

$k_{UA}$  – bezpečnostní faktor

Tabulka č. 2 - Bezpečnostní faktor pro určení  $u_A$  [4]

Bezpečnostní faktor pro určení $u_A$ v případě $n < 10$									
$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10 a více
$k_{UA}$	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

### 3.3.2 Nejistota typu B

Nejistoty typu B jsou způsobeny nedokonalostmi:

- měřicích prostředků a jejich příslušenství;
- použitých metod měření a jejich vedlejších vlivů;
- nestálostí místních podmínek při měření a jejich případných změn;
- vlivy operátora – zvyklosti, působení tělesné teploty, apod.;
- nedokonalostí vztahů, které jsou použity při vyhodnocování.

Nejistotu typu B můžeme stanovit po zralé racionální úvaze, zkušeností z předchozích měření, či údajů z kalibračních certifikátů měřicích přístrojů. Nejistotou typu B určujeme maximální rozsah odchylek od naměřené hodnoty tak, že můžeme tvrdit, že naměřená hodnota se s velkou pravděpodobností vyskytuje v množině hodnot určených nejistotou typu B. Nejistoty typu B se určují nestatickými metodami a jejich množství závisí na rozhodnutí operátora. Opakovanými měřeními **nelze jejich vliv snížit**.

Nejistoty typu B lze vypočítat trojím způsobem:

- z již známé rozšířené nejistoty přepočtem na nejistotu kombinovanou;
- odhadem z variability zdroje a statistického rozdělení;
- ze známých údajů o kombinované nejistotě (z certifikátů, tabulek, literárních zdrojů, kvalifikovaným odhadem, z doporučení od důvěryhodných zdrojů informací, atd.).

[4]

V případech, kdy jsou zdroje nejistot typu B určovány externě, (především u kalibrace), je výsledkem takového zkoumání protokol, který stanovuje rozšířenou nejistotu. Z ní je třeba stanovit zdroj typu B podle vztahu:

$$u_B = \frac{U}{k}$$

$U$  – rozšířená nejistota zdroje

$k$  – koeficient rozšíření zdroje nejistoty

parametry  $U$  a  $k$  lze vyhledat v tabulkách

Pokud je třeba nejistotu typu B odhadnout, probíhá výpočet podle vzorce:

$$u_B = \frac{Z_{max}}{x}$$

$Z_{max}$  – maximální odchylka zdroje od nejistoty

$x$  – koeficient statického rozdělení

## 4 BEZPEČNOST PRÁCE

Maximální bezpečný proud procházející lidským tělem je 10 mA střídavý a 25 mA stejnosměrný. Proud procházející lidským tělem je odvislý od konkrétní situace. Z Ohmova zákona vyplývá, že velikost procházejícího proudu závisí na velikosti napětí, částí, kterou se postižený dotýká, podlaze, únavě a momentálnímu psychickému rozpoložení. [6]

Velikosti bezpečného napětí vyplývají z následující tabulky:

Tabulka č. 3 - Hodnoty bezpečného napětí [vyhl. ČÚBP a ČBÚ č. 50/1978 Sb.]

Prostředí	Střídavé U	Stejnoseměrné U
Normální	50 V	120 V
Nebezpečné	25 V	60 V
Zvláště nebezpečné	12 V	25 V

### 4.1 První pomoc při úrazu elektrickým proudem

- 1.) Vyprostit postiženého z dosahu elektrického proudu. V laboratořích, vypnutím centrálního vypínače.
- 2.) Zjistit, zda postižený dýchá, jestli nemá zapadlý jazyk a zjistit hmatem na krkavici, zda má srdeční tep. Pokud ne, zařatou pěští dát úder z výšky 20 cm do středu hrudní kosti (prekordiální úder).
- 3.) Pokud postižený nedýchá ani mu nepracuje srdce, zahájit obnovu základních životních funkcí:
  - jeden zachránce: **2 vdechy / 30 stlačení hrudníku (6 až 8 cm);**
  - dva zachránci: **1 vdech / 5 stlačení hrudníku (6 až 8 cm).**

Neprodleně přivolat lékařskou pomoc na tel. číslo 112.

Vždy platí zásada, že ožívování postižené osoby je nutné provádět až do příjezdu lékaře!

[zdroj: [www.akutne.cz](http://www.akutne.cz)]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 SYSTÉM A PROCES MĚŘENÍ

System a proces měření tvoří vnitřní části, které jsou navzájem provázané, ovlivňují se a jsou hlavními zdroji variability. Tvoří jej především:

- **Operátor** – člověk, který měření provádí, často i vyhodnocuje a nese za něj odpovědnost. Tvoří živou část systému měření;
- **Měřicí přístroj** – zařízení určené k měření, samostatně nebo ve spojení s jedním nebo více přídavnými zařízeními;
- **Měřicí pomůcka** – předmět učený k zajištění optimálního procesu při měření, např. izolační podložka, svěrka, držák, měřidlo, atd.;
- **Postup měření** – logický sled po sobě jdoucích úkonů, na jejichž konci jsou výsledné hodnoty naměřených veličin;
- **Výsledky, analýza** – provádí se za účelem zjištění, či výpočtu výsledné hodnoty měření.

### 5.1 Postup při měření

- 1.) Před měřením zkontrolujeme, zda jsou regulační prvky napěťových zdrojů v polohách odpovídajících nulovému napětí (resp. minimálnímu proudu).
- 2.) Po zkontrolování zapojení postupně zapneme napájecí zdroje (vypínače na předních panelech elektronických přístrojů, apod.).
- 3.) Nastavíme postupně požadované hodnoty veličin a provedeme měření. Naměřené hodnoty průběžně zaznamenáme.
- 4.) Provedeme stanovení nejistoty měření a výslednou hodnotu porovnáme s očekávanými hodnotami.

#### 5.1.1 Praktické pokyny při zapojování elektrických obvodů

Pro úspěšné zvládnutí měřicí úlohy je dobré si provést rozmístění veškerých prvků měřicího obvodu tak, aby se vzájemně neovlivňovaly.

Propojení prvků provádíme, aby bylo přehledné nejen pro nás, ale i pro ostatní. Vyvarujeme se tak zbytečným chybám a možnému poškození techniky, či úrazu elektrickým proudem.

Nejdříve zapojujeme proudové obvody, průřez vodičů volíme s ohledem na velikost procházejícího proudu.

Délka vodičů by měla být dostatečná, aby nedocházelo k mechanickému namáhání, či poškození kontaktů.

## **5.2 Dodržování zásad při práci v laboratořích**

- 1.) Po zapojení obvodu je nutno a před připojením zdrojů je nutno *nechat si zkontrolovat zapojení úlohy od asistenta.*
- 2.) Jakékoliv úpravy zapojení se provádějí výhradně při vypnutých zdrojích.
- 3.) Při obsluze přístrojů a zařízení se obsluhující smí dotýkat pouze částí určených pro obsluhu (vypínačů, přepínačů, regulačních prvků, apod.).
- 4.) Vadné pojistky se zásadně nesmí opravovat! Výměnu pojistek provádí výhradně asistent.
- 5.) Poruchu některého z používaných zařízení je nutno ihned ohlásit asistentovi. Vadné zařízení je nutné vyměnit.
- 6.) Při vzniku požáru je nutno okamžitě vypnout elektrický proud a zahájit hašení pomocí hasicích přístrojů umístěných v laboratořích. Hasicími přístroji v laboratořích je možno hasit elektrická zařízení i pod napětím.
- 7.) Při vzniku úrazu elektrickým proudem postupovat dle zásad uvedených v kapitole 4.1.

[9]

## **5.3 Měřicí přístroje a pomůcky používané v laboratoři C304**

V tomto odstavci je uveden seznam přístrojů, příslušenství a pomůcek nutných ke splnění zadaných úloh předmětu „Instrumentace a měření“.

### **5.3.1 DU 10 (Avomet)**

Analogový magnetoelektrický měřicí přístroj určený pro měření stejnosměrného / střídavého napětí a proudu. Dále lze s měřicím přístrojem měřit elektrický odpor.

Třída přesnosti: 1,5% =; 2,5% ~

Výrobce: Metra Blansko



Obr. 7 Měřicí přístroj DU 10 [www.kvt-elektronika.cz]

### 5.3.2 Multimetr HP 973A

Digitální multimetr určený pro měření stejnosměrného / střídavého napětí a proudu, frekvence, teploty, polovodičového přechodu.

Rozlišení:  $3^{1/2}$  digitu

Výrobce: Hewlett-Packard



Obr. 8 Multimetr HP 973

### 5.3.3 Multimetr M-830B

Digitální multimetr určený pro měření stejnosměrného / střídavého napětí a proudu, polovodičového přechodu a bipolárních tranzistorů.

Rozlišení:  $3^{1/2}$  digitu

Výrobce: Sinometer



Obr. 9 Multimetr M-830B

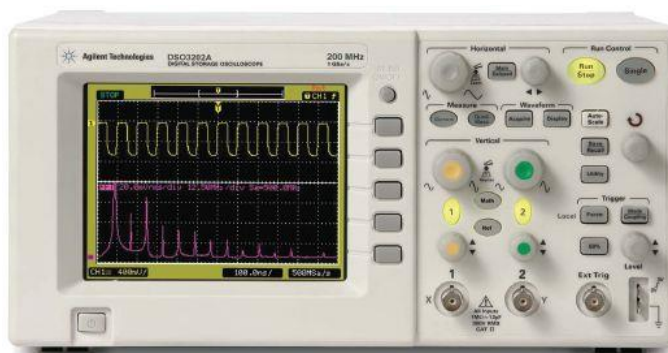
### 5.3.4 Digitální osciloskop DSO3062A

Dvoukanálový digitální osciloskop s barevným 5,7“ LCD displejem; 10 přednastavených průběhů střídavého signálu; matematické funkce; rozhraní USB – připojení druhého zařízení, tiskárny, PC, aj.; možnost exportu do CSV formátu.

- Šířka pásma 60 MHz
- Vzorkování 1 GSa/s
- Velikost paměti navzorkovaného průběhu 4 kpts

Zkreslení: neuvedeno

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 10 Osciloskop DSO3062A [www.home.agilent.com]

### 5.3.5 Přístroj pro měření tlaku TESTO 435

Multifunkční měřicí přístroj s integrovaným měřením diferenčního tlaku s paměti až 10 000 údajů. Rozhraní USB, možnost exportu do výstupního protokolu. Možnost připojení sondy absolutního tlaku, vlhkostního senzoru, senzoru CO<sub>2</sub>.

Rozlišení: 0,1 °C; 0,1 hPa; 0,1% rv; 1ppm CO<sub>2</sub>; 1 Lx; 0,1 Hz; 0,1 m/s. Výrobce: Testo AG



Obr. 11 TESTO 435

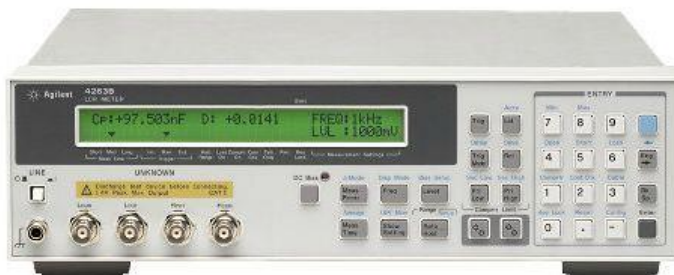
### 5.3.6 LCRmetr 4263B

Tento přístroj slouží k přesnému měření indukčnosti cívek, kapacity kondenzátorů a odporu rezistorů. Výstup na tiskárnu nebo do PC pomocí rozhraní GPIB.

- Testovací frekvence      100 Hz; 120 Hz; 1 kHz; 10 kHz; 20 kHz; 100 kHz
- Odezva při měření        25 ms
- Měření veličiny            Z – impedance (absolutní hodnota)  
    Y – admittance (absolutní hodnota)  
     $\Theta$  - fázový úhel  
    R – elektrický odpor  
    Ls, Lp – ekvivalentní sériová, paralelní indukčnost  
    Cs, Cp – ekvivalentní sériová, paralelní kapacita  
    Q – činitel jakosti  
    D – ztrátový činitel  
    G – vodivost  
    X – reaktance  
    B – susceptance  
    Rs, Rp – ekvivalentní sériový, paralelní odpor

Zkreslení: 0,1%

Výrobce: Agilent Technologies



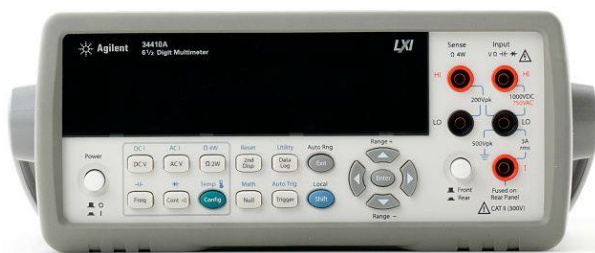
Obr. 12 LCRmetr 4263B [www.home.agilent.com]

### 5.3.7 Stolní digitální multimetr 34410A

Digitální multimetr určený pro měření elektrických veličin – elektrické napětí, proud, odpor, kapacitance, frekvence a neelektrických veličin – teplota. Velikost paměti až 50 000 záznamů. Rozhraní: LAN, USB GPIB.

Rozlišení:  $6^{1/2}$  digitu

Výrobce: Agilent Technologies

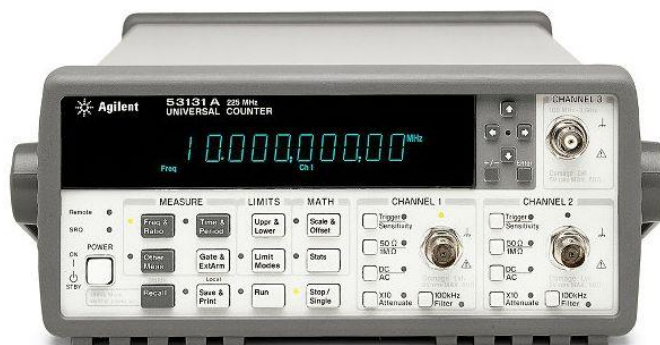


Obr. 13 Digitální multimetr 34410A [www.home.agilent.com]

### 5.3.8 Čítač pulzů – 53131A

Univerzální frekvenční čítač, dva vstupní kanály, šířka pásma 225 MHz. Třetí kanál není obsazen. Desetimístný displej, rozhraní GPIB.

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 14 Čítač 53131A [www.home.agilent.com]

### 5.3.9 Generátor střídavého signálu - 33220A

Generátor střídavého signálu obsahuje 11 předdefinovaných funkcí; rozlišení 14 bitů; rozhraní: USB, LAN, GPIB; výstupní signál 10 mV – 10 V; lineární i logaritmické rozmítání; displej pro vizualizaci nastaveného signálu.

Frekvenční rozsah jednotlivých typů signálu:

- sinusový, obdélníkový 1  $\mu$ Hz – 20 MHz
- pilový, trojúhelníkový 1  $\mu$ Hz – 200 kHz
- pulsní 500  $\mu$ Hz – 5 MHz
- libovolný průběh 1  $\mu$ Hz – 6 MHz

Harmonické zkreslení: 0,04%

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 15 Generátor střídavého signálu 33220A [www.home.agilent.com]

### 5.3.10 Pasivní napěťová sonda N2862A

Tato sonda slouží pro měření napětí až do velikosti 300 V $\sim$ . Pracovní šířka pásma 150 MHz, útlum 10x, čas náběhu 2,33 ns.

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 16 Sonda N2862A [cz.rs-online.com]

### 5.3.11 Termočlánek Carel PTCO 15W 000

Sonda o rozměrech 6x40 mm pracující v rozsahu od -50 °C do +100 °C. Silikonový přívodní kabel, délka 1,5 m. Pevnost dielektrika 2 kV $\sim$ , krytí IP 67.

Výrobce: CAREL INDUSTRIES HQs



Obr. 17 Termočlánek PTCO 15W 000 [cz.rs-online.com]

### 5.3.12 Teplotní čidlo TE typ K

Povrchová teplotní sonda, délka 150 mm, maximální pracovní teplota +1000 °C. Délka přívodního kabelu 1,2 m. Silikonový přívodní kabel, délka 1,5 m.

Výrobce: Testo AG



Obr. 18 Teplotní čidlo TE typ K [cz.rs-online.com]

### 5.3.13 kabel s rozhraním 16089D;

Příslušenství k přístrojům Agilent 4149A, 4194A, 4263B, 4278A, 4284A, 4285A. Frekvenční rozsah od 5 Hz do 10 kHz, napětový rozsah od -35 V do +35 V, pracovní teplota od 0 °C do +55 °C, délka kabelu 0,94 m.

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 19 Kabel 16089D [www.trs-rentelco.com]



### 5.3.14 Krystal HCJ-30 krystal f. 1,8432 MHz

Krystalový rezonátor pracující na frekvenci 1,8432 MHz, tolerance 20 ppm, kapacita 30 pF, výkon 1 mW, stabilita kmitočtu  $\pm 50$  ppm, pracovní teplota od  $-10$  °C do  $+60$  °C.

Výrobce: C-MAC MicroTechnology



Obr. 20 Krystal HCJ 30 f 1,8432 MHz [www.gme.cz]

### 5.3.15 Fotodioda 1PP75

Hradlová křemíková fotonka, předchůdce solárních článků, počátek výroby 1963. Kladný pól vnitřní elektromotorické síly je na anodě. Anoda je označena červenou tečkou. Parametry:  $I > 70 \mu\text{A}$  a  $U > 0,3 \text{ V}$  při intenzitě osvětlení 1000 Lx.

Výrobce: TESLA Rožnov



Obr. 21 Fotodioda 1PP75 [www.soucastka.cz]

### 5.3.16 LED dioda ZBO-518-090

Vysoce svítivá LED dioda červené barvy. Napájecí napětí od 2 V do 2,6 V; proud 70 mA; reverzní napětí 5 V; výkon 182 mW; vyzařovací úhel  $15^\circ$ ; svítivost  $1 \times 10^5$  mcd; provozní teplota od  $-30$  °C do  $+85$  °C; vlnová délka emitovaného světla 625 nm.

Výrobce: International Light Technologies



Obr. 22 LED ZBO-518-090 [www.gme.cz]

### 5.3.17 Modulátor světelného svazku SR 540

Pracující na principu rotujícího kotouče s definovanými otvory. Frekvenční rozsah od 4 Hz do 400 Hz (kotouč 5/6 otvorů), od 400 Hz do 3,7 kHz (kotouč 25/30 otvorů). Možnost řízení otáček potenciometrem nebo pomocí externího stejnosměrného napětí v rozsahu od 0 V do 10 V. Každé řadě otvorů je přiřazen jeden frekvenční výstup. Frekvence lze mezi sebou sčítat i odčítat. Zobrazení frekvence na čtyřmístném displeji.

Rozlišení: 4 digity

Výrobce: Stanford Research Systems



Obr. 23 Chopper SR 540 [img.directindustry.com]

### 5.3.18 Číslicově řízený zdroj - E3631A

Programovatelný laboratorní zdroj s LCD displejem. Výstup:  $-25\text{ V}$  až  $+25\text{ V} / 1\text{ A}$ ;  $0$  až  $6\text{ V} / 5\text{ A}$ ; stabilizace napětí:  $\leq 0,01\% + 2\text{ mV}$ ; stabilizace proudu:  $\leq 0,01\% + 250\text{ }\mu\text{A}$ . Rozhraní: GPIB, RS 232.

Rozlišení: napětí  $0,5\text{ mV}$ , proud  $0,5\text{ mA}$

Výrobce: Agilent Technologies



Obr. 24 Číslicově řízený zdroj E 3631A [www.home.agilent.com]

## **6 ROZDĚLENÍ MĚŘICÍCH PRACOVÍŠŤ**

V laboratoři číslo C 304 probíhají měření elektrických veličin, jejich závislostí na teplotě, vlhkosti, frekvenci a další. V této kapitole jsou popsána jednotlivá pracoviště a typy přístrojů, které se u nich využívají. Podrobnější specifikace jednotlivých přístrojů jsou uvedeny v kapitole 5.

### **6.1 Pracoviště 1**

Měření efektivních hodnot střídavého signálu.

#### **6.1.1 Použité přístroje a zařízení**

5.3.1 DU 10 (Avomet), 5.3.2 Multimetr HP 973A, 5.3.3 Multimetr M-830B Sinometer, 5.3.9 Generátor střídavého signálu 33220A, 5.3.4 Digitální osciloskop DSO3062A, 5.3.10 Pasivní napěťová sonda N2862A.

### **6.2 Pracoviště 2**

Měření elektrického odporu v závislosti na teplotě a vlhkosti.

#### **6.2.1 Použité přístroje a zařízení**

5.3.11 Termočlánek Carel PTCO 15W 000, 5.3.12 Teplotní čidlo TE typ K, 5.3.7, Stolní digitální multimetr 34410A.

### **6.3 Pracoviště 3**

Měření kinetiky síťovací reakce metodou dielektrické spektroskopie.

#### **6.3.1 Použité přístroje a zařízení**

5.3.6 LCRmetr 4263B, 5.3.13 kabel s rozhraním 16089D.

### **6.4 Pracoviště 4**

Měření frekvenční charakteristiky piezokrystalu.

#### **6.4.1 Použité přístroje a zařízení**

5.3.14 Krystal HCJ-30 krystal f. 1,8432 MHz, 5.3.9 Generátor střídavého signálu 33220A,

5.3.4 Digitální osciloskop DSO3062A.

### **6.5 Pracoviště 5**

Měření šířky pásma fotodiody.

Tato úloha je také podrobně rozepsána v kapitole 7 v rámci vytvoření laboratorní úlohy.

#### **6.5.1 Použité přístroje a zařízení**

5.3.15 Fotodioda 1PP75, 5.3.16 LED dioda ZBO-518-090, 5.3.17 Modulátor světelného

svazku SR 540, 5.3.18 Číslicově řízený zdroj - E3631A (2x), 5.3.8 Čítač pulzů – 53131A,

Digitální osciloskop DSO3062A.

## **7 LABORATORNÍ ÚLOHA Č 5, PŘEDMĚTU INSTRUMENTACE A MĚŘENÍ**

V této kapitole je zpracovaná úloha č. 5 „Měření frekvenční charakteristiky fotodiody“, která bude součástí předmětu „Instrumentace a měření“. Jsou zde popsány laboratorní přístroje, jejich ovládání a nastavení. Je provedeno praktické měření dané úlohy a vytvoření aplikace v grafickém prostředí Agilent WEE Pro, za účelem vizualizace a zautomatizování celého měřicího procesu. Výstupem procesu je vyhotovení vzorového Protokolu o měření.

Pro tento účel jsem navrhl a zhotovil laboratorní měřicí zařízení s označením M3B, které zahrnuje rotační kotouč, fotodiodu a LED diodu, v uzamykatelné kovové krabici. Toto zařízení bude sloužit studentům jednak, aby měření bylo, s ohledem na rotující kotouč, bezpečné, ale také z důvodu maximálního omezení nežádoucích účinků okolního prostředí. Zpočátku byla LED dioda napájena ze síťového adaptéru. To však mělo za následek, že se do fotodiody přenášel, formou světelného paprsku z LED diody, rušivý signál z napájecího zdroje. V rámci úlohy je LED dioda napájena z číslicově řízeného stabilizovaného zdroje.

### **7.1 Obsluha laboratorních přístrojů**

Pro řádné splnění úlohy č 5 potřebujeme následující přístroje a zařízení:

- Modul M3B: 5.3.15 *Fotodioda 1PP75*, 5.3.16 *LED dioda ZBO-518-090*, 5.3.17 *Modulátor světelného svazku SR 540*;
- 5.3.18 Číslicově řízený zdroj - E3631A (2x), 5.3.8 Čítač pulzů – 53131A, Digitální osciloskop DSO3062A.

### **7.2 Modul M3B**

Laboratorní měřicí zařízení, které umožňuje měření frekvenční charakteristiky fotodiody v uzavřeném prostředí. Po připojení modulu k číslicově řízenému zdroji, modulátoru světelného svazku a digitálnímu osciloskopu můžeme pohodlným a bezpečným způsobem měřit výstupní charakteristiku fotodiody v závislosti na frekvenci přerušovaného zdroje světla LED diody. Pro snadnou kontrolu funkce modulu jsou dvířka opatřena zámkem.



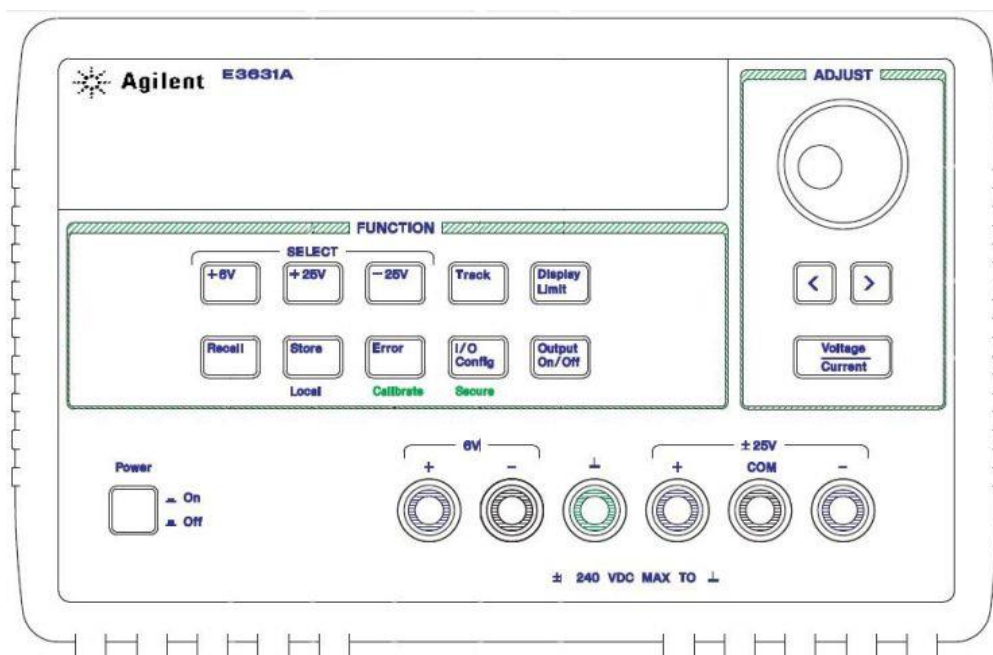
Obr. 26 Vnitřní část M3B

### 7.2.1 Připojení modulu k přístrojům

- konektor typu JACK, pro připojení ke zdroji E3631A, napájení napětí: 6 V;
- RJ 11, Připojení k modulátoru světelného svazku SR 540;
- BNC, připojení k digitálnímu osciloskopu DSO3062A.

## 7.3 Číslicově řízený zdroj E3631

### 7.3.1 Čelní panel zdroje



Obr. 26 Čelní panel E 3631A [www.home.agilent.com]

#### 1. Zobrazovací displej:

- Freq, zobrazení frekvence;
- Adrs, zdroj je adresován;
- Rmt, dálkové ovládání zdroje;

- +6 V; +25 V; -25 V, aktivace zvoleného výstupu zdroje;
- CAL, zdroj je ve stavu kalibrace;
- Track, zdroj pracuje v tzv. závěsu;
- Lmt, zobrazení nastavení limitních hodnot zdroje;
- ERROR, chybné nastavení zdroje nebo dálkového příkazu;
- OFF, odpojené výstupní svorky;
- Unreg, neregulovatelný stav zdroje;
- CV, zdroj napěťový;
- CC, zdroj proudový.

2. Funkční tlačítka pro nastavení parametrů zdroje:

- [Track] výběr Track módu – párování s jiným zdrojem. Pro aktivaci stisknout tlačítko po dobu 1 s;
- [Display Limit] zobrazí na displeji nastavené limitní hodnoty napětí a proudu
- [Recall] vyvolání nastavených parametrů zdroje uložených v paměti;
- [STORE] uložení nastavených parametrů zdroje do paměti 1 až 3 pomocí otočného knoflíku č. 9;
- [Error] zobrazení kódu chyb během provozu, automatického testu nebo kalibrace. Pro kalibrování stisknout tlačítko po dobu 5 s;
- [I/O Config] nastavení konfigurace sběrnic, nastavení adresy přístroje, přenosové rychlosti, parity, aktivace kalibračních parametrů;
- [Output On/Off] zapnutí /vypnutí napětí na výstupní svorky.

4. [Power] tlačítko pro zapnutí/vypnutí přístroje.

6. 7. Svorky pro připojení výstupního napětí.

8. Ochranná pryž.

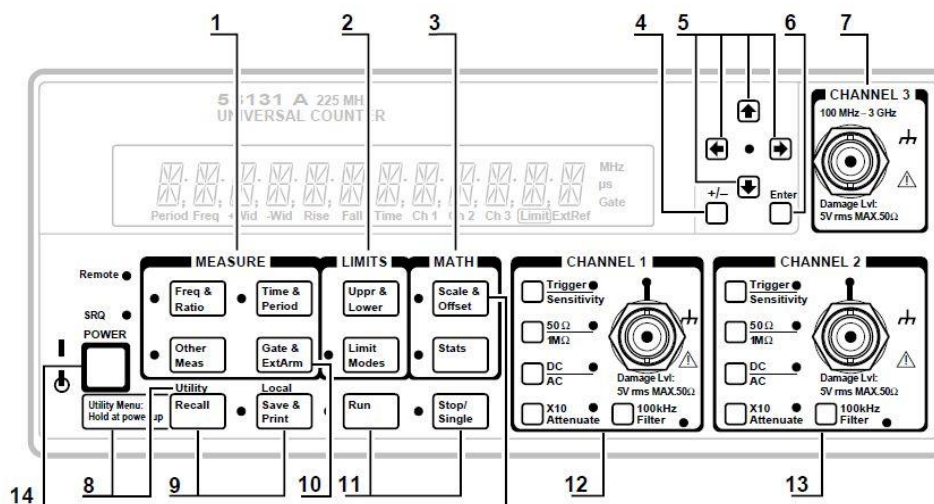
9. Otočný knoflík, pro nastavení hodnoty na displeji.

10. Šipky, pro posunutí blikajícího kurzoru vlevo, vpravo.

11. [Voltage Current] výběr nastavované veličiny – elektrického napětí, proudu.

## 7.4 Čítač pulzů – 53131A

### 7.4.1 Čelní panel čítače



Obr. 27 Čelní panel 53131A [www.home.agilent.com]

#### 1. Zobrazovací displej:

Freq, zobrazení frekvence;

Ch 1 až 3, zobrazení hodnot vstupního kanálu č. 1, č. 2 nebo č. 3.

#### 2. Funkční prvky pro nastavení čítače:

**1. Measure**, oblast pro nastavení měření;

**2. Limits**, oblast pro nastavení limitů;

**3. Math**, oblast pro matematické operace;

**4.** [+/-] výběr polarity;

**5.** [↔AV] výběr šipkami;

**6.** [Enter] potvrzení výběru;

**7. Channel 3**, vstupní kanál č. 3 [od 100 MHz do 3 GHz];

**8.** [Utility menu] vstup do nastavení „Setup“;

**9.** [Recall] [Save & Print] vyvolání, uložení a tisk;

**10.** [Gate & ExtArm] menu pro nastavení brány;

**11.** [Run] [Stop/Single] vyvolání kontrolního měření;

**12. Channel 1**, vstupní kanál č. 1;

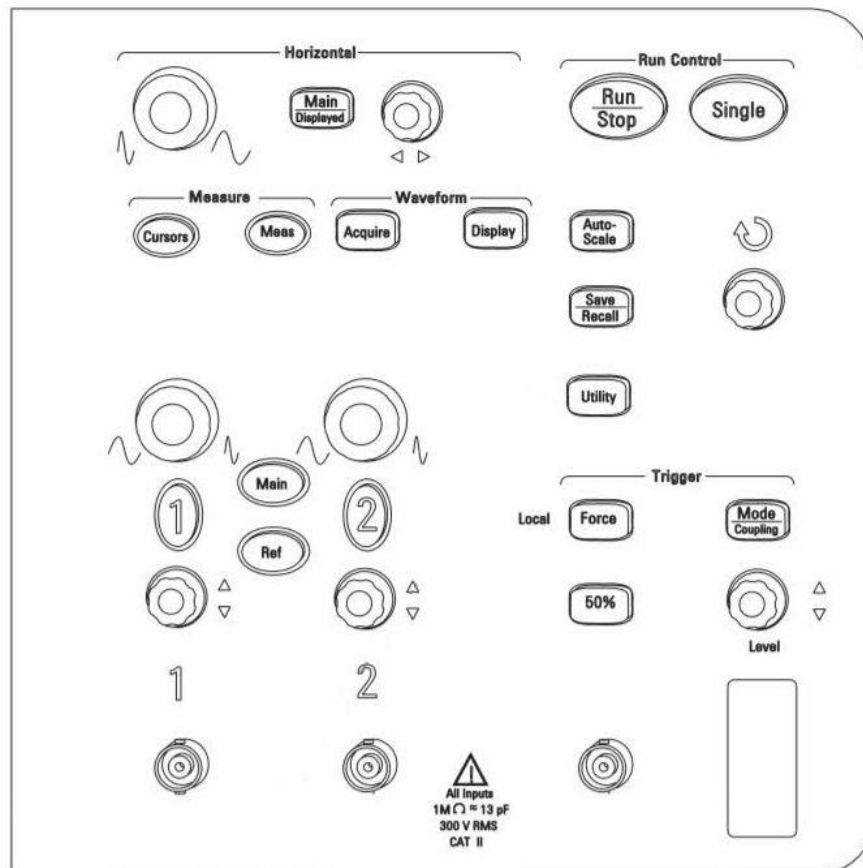
**13. Channel 2**, vstupní kanál č. 2;

**14.** [Power] [Scale & Offset] po zapnutí přístroje proběhne kalibrace.



## 7.5 Digitální osciloskop DSO3062A

### 7.5.1 Čelní panel osciloskopu



Obr. 28 Čelní panel DSO3062A [www.home.agilent.com]

#### 1. Funkční prvky - ovládací panel:

**Horizontal**, otočné knoflíky a tlačítka pro ovládání časové základny;

- [Main/Delayed] vyvolání časového zpoždění průběhu;

**Vertical**, otočné knoflíky a tlačítka pro vertikální ovládání;

- [Math] vyvolání matematických funkcí: součtu; rozdílu; součinu;
- [Ref] nastavení průběhu z levé strany na střed obrazovky;

**Measure**, vyvolání funkce automatického měření;

- [Cursors] výběr kurzoru pro odečítání napětí nebo času;
- [Measure] nastavení osciloskopu k měření průběžné nebo ustálené hodnoty, následně spustí měření;

**Waveform**, uložení tvaru vlny;

- [Acquire] nastavení parametrů pro sběr a záznam dat;
- [Display] řízení zobrazení průběhů, rastru a zápisu textu na obrazovku;

**Run Control**, oblast zachycení průběhu vlnového signálu;

- [Run/Stop] slouží ke spuštění / zastavení výběru dat. Svítí-li tlačítko zeleně, osciloskop je připraven k výběru dat, svítí-li červeně, výběr dat je zastaven;
- [Single] okamžité zachycení signálu a zobrazení na displeji;
- [Auto-Scale] automatické nastavení vhodných podmínek signálu;
- [Save/Recall] uložení signálu do paměti/vyvolání z paměti;
- [Utility] nastavení parametrů pro tisk;

**Trigger**, oblast synchronizace;

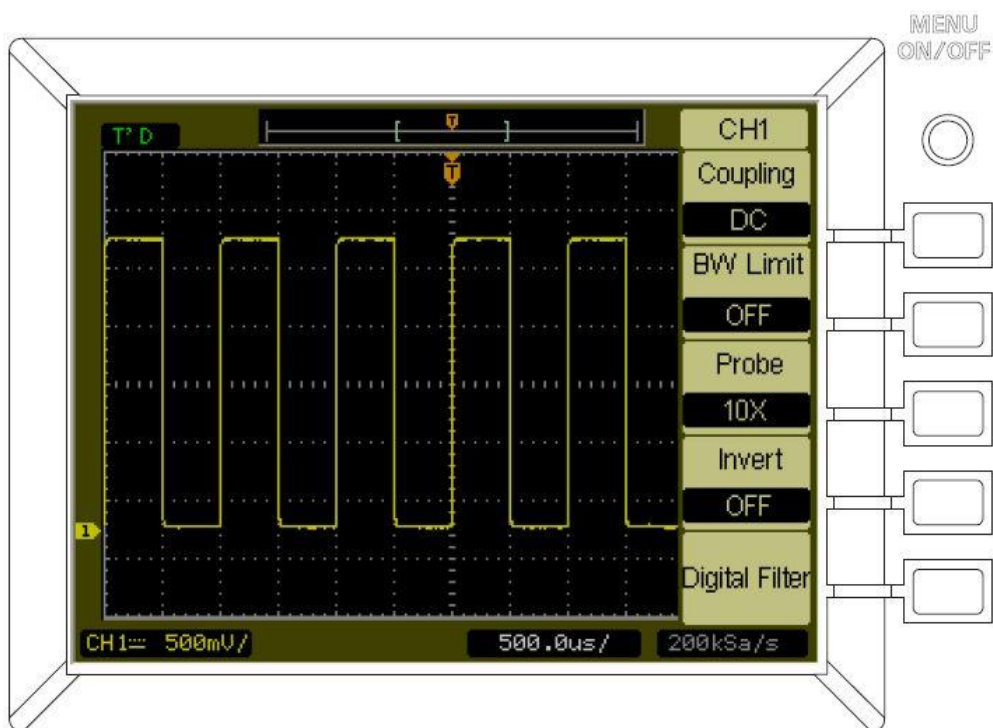
- [Mode/Coupling] výběr stejnosměrné nebo střídavé vazby vstupního kanálu;
- [Force] zesílení signálu.

2. Vstupní konektory:

**1**, vstupní kanál č. 1;

**2**, vstupní kanál č. 2;

**Ext Trig**, kanál pro spouštění z externího referenčního signálu.



Obr. 29 Zobrazovací displej DSO3062A [www.home.agilent.com]

3. Funkční prvky - displej:

**MENU ON/OFF**, zapnutí/vypnutí položek MENU na displeji;

- [Coupling] výběr stejnosměrné nebo střídavé vazby vstupního kanálu;
- [BW Limit] zobrazí na displeji nastavené limitní hodnoty napětí a proudu;
- [Probe] vyvolání nastavených parametrů zdroje uložených v paměti;
- [Invert] zapnutí/vypnutí invertování kanálu;
- [Digital Filter] režim digitálního filtru signálu.

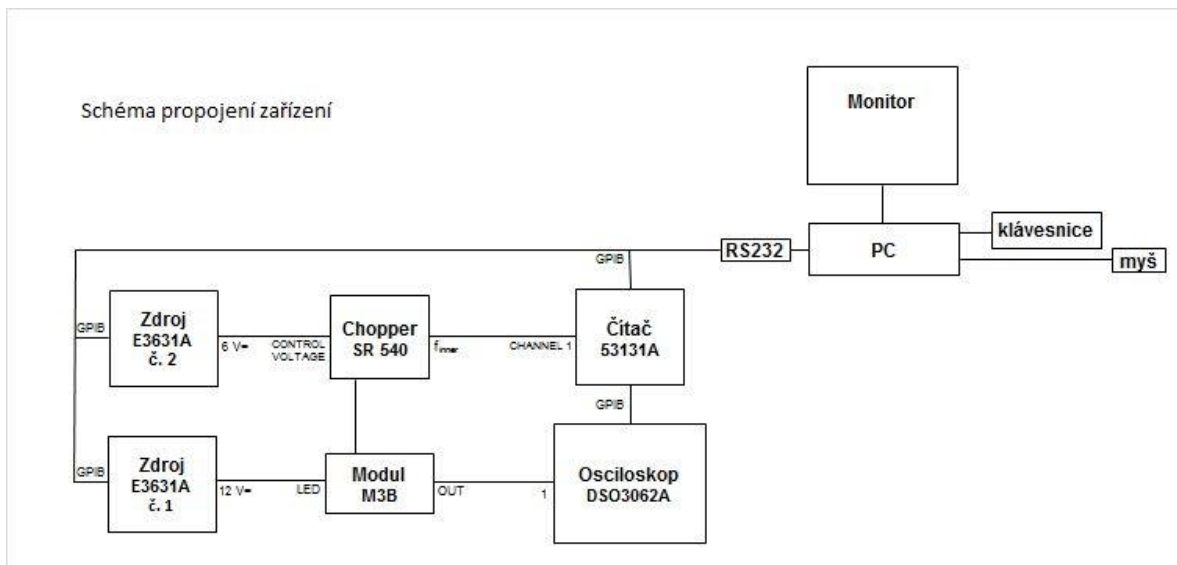
## **7.6 Měření frekvenční charakteristiky fotodiody**

Fotodioda je polovodičová součástka vyrobená buď z germania, nebo křemíku, která je konstrukčně uzpůsobena tak, aby na polovodičový přechod PN mohlo dopadat světlo. Dopadající foton narazí na elektron, který se nachází ve valenčním pásu atomu polovodiče a ten je díky získané energii emitován do pásu vodivostního. Po elektronu vznikne v krystalové mřížce díra, tedy kladně nabitá částice. Vlivem pohybu elektronů se také přenáší elektrický náboj. Klesá tedy odpor fotodiody, zvyšuje se vodivost. Fotodioda je součástka pracující na fotoelektrickém jevu, jedná se o zdroj elektrického napětí. Účinnost křemíkové diody se pohybuje od 10 do 15 %. Výstupní proud fotodiody je několik desítek mikroampérů (viz. kapitola 5.3.15). Pokud tedy potřebujeme dodat určitý výkon, zapojujeme fotodiody do sérioparalelního zapojení. Můžeme si tak vyrobit nechvalně proslulý solární článek.

### **7.6.1 Zadání úkolu**

Účinnost fotodiody je závislá na frekvenci dopadajícího světla. My budeme tedy měřit frekvenční závislost od frekvence 50 Hz až do maximálně 1 kHz, po kroku 10 Hz. Jakmile klesne napětí od referenční frekvence o 3 dB, měření ukončíme. Získané hodnoty importujeme do tabulky MS Excel a vytvoříme graf, ze kterého vyplyne šířka pásma fotodiody 1PP75. Po ukončení práce s měřicí technikou vyhotovíme Protokol o měření.

## 7.6.2 Blokové schéma propojení zařízení



Obr. 30 Schéma propojení úlohy č. 5

## 7.6.3 Postup řešení úlohy

1. Postavte na sebe zdroj č. 1, zdroj č. 2 a čítač. Vpravo od sestavy umístěte modul M3B a Chopper. U modulu M3B nechte dvířka lehce pootevřená.
2. Propojte kabely dle schématu, propojte síť GPIB a připojte všechna zařízení do sítě NN. Zatím žádné zařízení nezapínejte!
3. Otevřete v počítači program VEE Pro s úlohou č. 5. Nechte si nechat zkontrolovat zapojení od vedoucího laboratoře, po odsouhlasení můžete zapnout přístroje.
4. U čítače stiskněte tlačítka [Gate...] + [Time...] a nastavte dobu měření na 0,1 s.
5. V programu VEE Pro stiskněte virtuální tlačítko pro zapnutí LED. Po kontrole rozsvícení LED diody zavřete dvířka u modulu M3B.
6. Spusťte program stisknutím virtuálního tlačítka [START].
7. Zkontrolujte otáčky na displeji Chopperu a nastavte optimální časovou základnu a vertikální úroveň u osciloskopu. Program vás vyzve k potvrzení nastavení osciloskopu.
8. Kontrolujte běh programu, aktuální parametry na přístrojích, a zda se naměřené údaje správně zapisují do textového souboru. Pokud se objeví jakákoliv závada nebo nestandardní stav, program ukončete zmáčknutím tlačítka [STOP].

9. Přibližně kolem frekvence 750 Hz program zastavte zmáčknutím virtuálního tlačítka[Konec].
10. Naměřená data nakopírujte do tabulky MS Excel. Do sloupce „A“ vložte frekvenci a do sloupce „B“ naměřené napětí z fotodiody. Do sloupce „C“ vložte vzorec pro výpočet pro stanovení šířky pásma:  $= 20 \log_{10} \left( \frac{U_{ref}}{U_{měř}} \right)$ . Sledujte pokles hodnoty napětí o 3 dB a tyto hodnoty vynesete do bodového grafu. Dále vypočítejte ve sloupci „D“ efektivní hodnotu střídavého signálu, která bude vycházet z naměřených hodnot.
11. Vyhotovte „Protokol o měření“ a odevzdejte vedoucímu laboratoře.
12. Před odchodem z pracoviště vypněte všechny přístroje a uveďte pracoviště do původního stavu.
13. Přeji mnoho fotovoltaického štěstí!



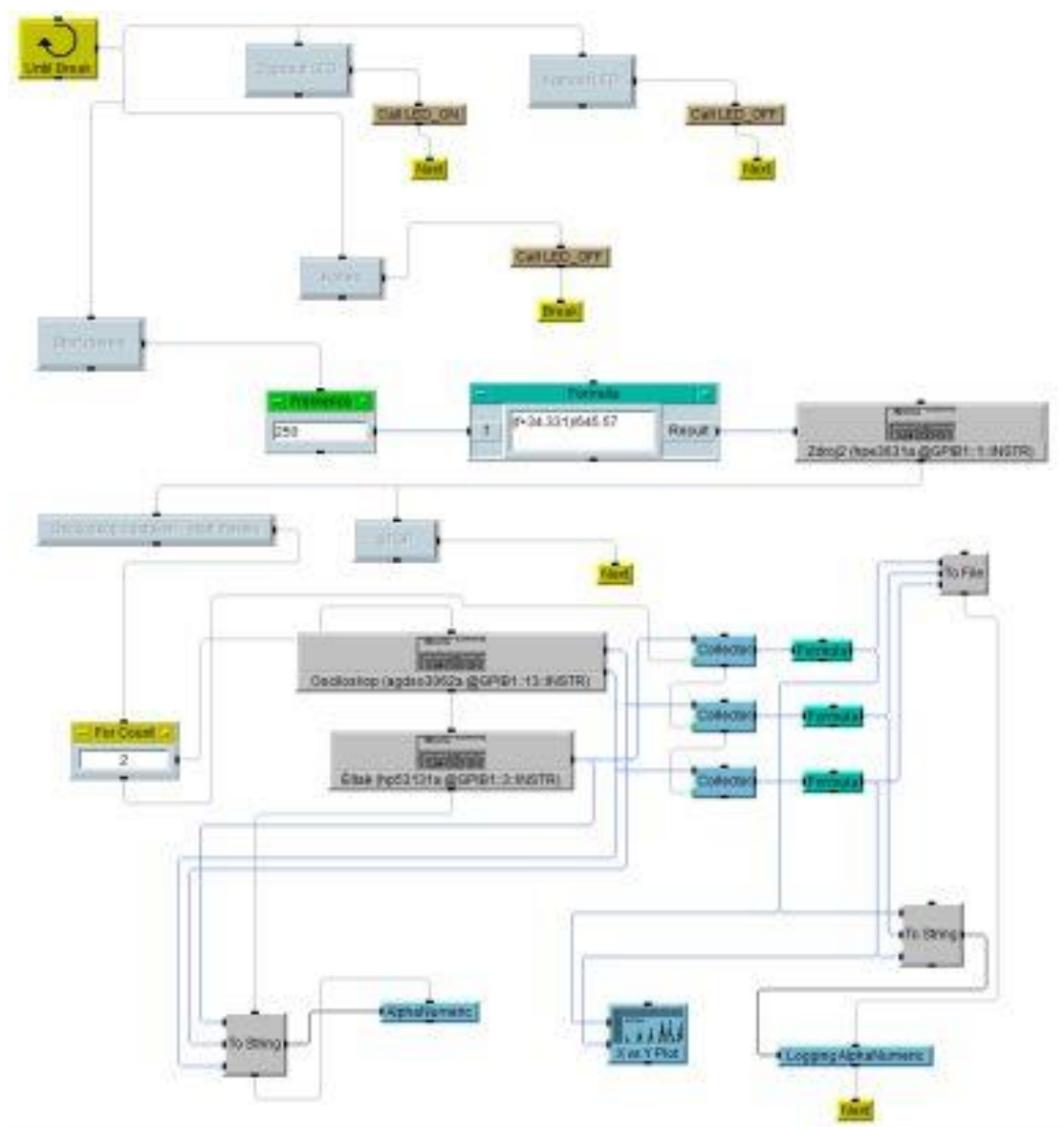
Obr. 31 Propojení přístrojů v laboratoři C 304

## 7.7 Prostředí Agilent VEE Pro

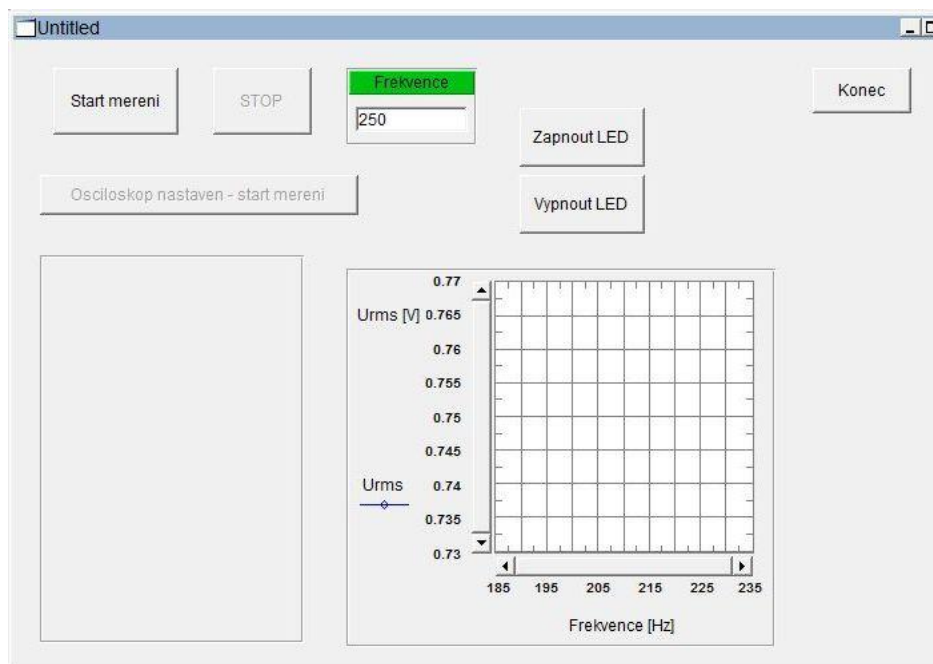
Jedná se o grafické vývojové prostředí, které slouží pro ovládání měřicích přístrojů pomocí rozhraní LAN, GPIB a RS 232. Pro laboratorní úlohu č. 5 je grafické prostředí navrženo tak, aby bylo využito napěťové řízení frekvence generátoru modulovaného světelného

svazku Chopper. Pro stanovení nejistoty typu A se měření na dané frekvenci opakuje 10x a výsledná hodnota (aritmetický průměr) se zapíše do textového souboru. Pokud dojde k posunutí výstupního průběhu mimo nastavenou časovou základnu osciloskopu, program se zastaví. K opětovnému spuštění programu dojde až po potvrzení virtuálního tlačítka [Osciloskop nastaven - start měření]. Jinak program pracuje zcela samostatně. Pouze je zapotřebí kontrolovat správnou funkci přístrojů, zejména aktuální frekvenci na displeji Chopperu a čítače.

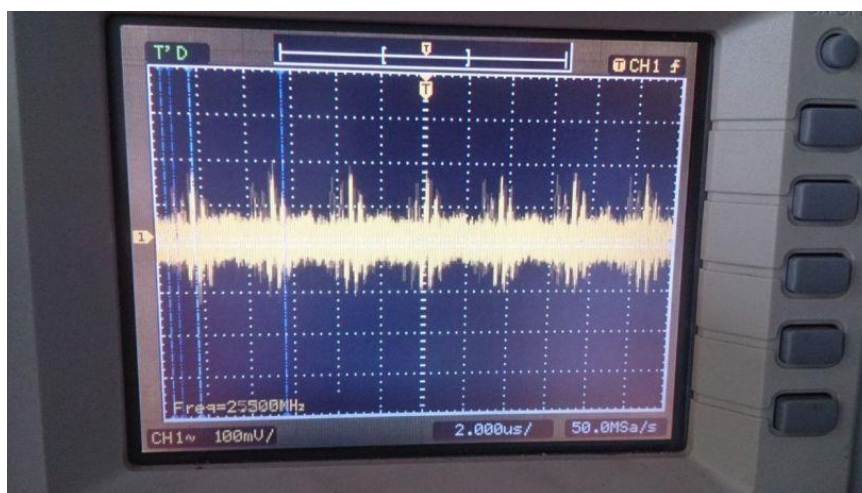
### 7.7.1 Schéma úlohy č. 5 v prostředí VEE Pro



Obr. 32 Schéma úlohy č. 5 v prostředí VEE Pro



Obr. 33 Grafický panel v prostředí VEE Pro

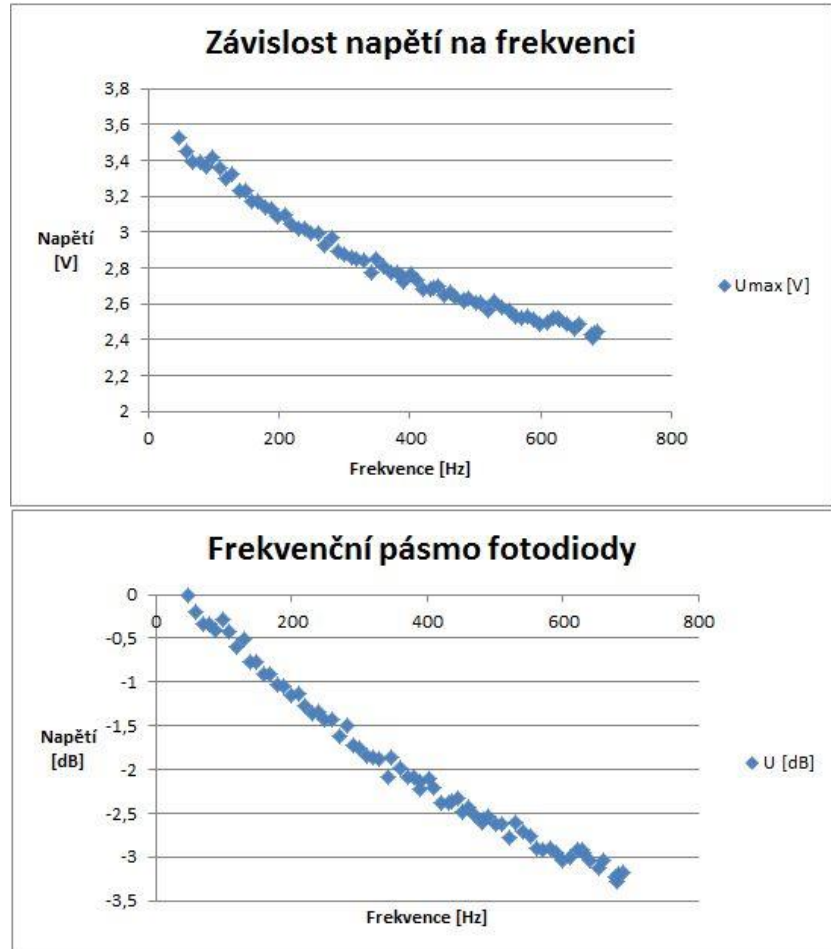


Obr. 34 Průběh výstupního signálu z fotodiody zobrazený na osciloskopu

## 7.8 Výsledky měření

### 7.8.1 Naměřené hodnoty

f [Hz]	U <sub>max</sub> [V]	U [dB]	U <sub>er</sub> [V]
48,6	3,528	0	2,495
58,4	3,448	-0,199	2,438
69,4	3,392	-0,341	2,399
78,8	3,392	-0,341	2,399
88,5	3,368	-0,403	2,382
99,2	3,416	-0,28	2,415
109,1	3,36	-0,424	2,376
119	3,296	-0,591	2,331
129,5	3,328	-0,507	2,353
139,2	3,232	-0,761	2,285
148,9	3,232	-0,761	2,285
159,1	3,176	-0,913	2,246
167,3	3,176	-0,913	2,246
179,5	3,136	-1,023	2,217
188,9	3,128	-1,045	2,212
198,9	3,088	-1,157	2,184
210,6	3,096	-1,135	2,189
220	3,048	-1,27	2,155
230,3	3,016	-1,362	2,133
239,5	3,024	-1,339	2,138
249	2,992	-1,431	2,116
260	2,992	-1,431	2,116
270,4	2,928	-1,619	2,070
281,1	2,968	-1,501	2,099
290,8	2,896	-1,715	2,048
300,9	2,88	-1,763	2,036
311,6	2,856	-1,835	2,019
319,6	2,848	-1,86	2,014
329,5	2,84	-1,884	2,008
341,5	2,776	-2,082	1,963
347,6	2,848	-1,86	2,014
359,8	2,808	-1,983	1,986
370,6	2,776	-2,082	1,963
380,3	2,776	-2,082	1,963
388,8	2,76	-2,132	1,952
390,1	2,728	-2,234	1,929
402,4	2,768	-2,107	1,957
410,2	2,736	-2,208	1,935
419,8	2,68	-2,388	1,895
432,4	2,68	-2,388	1,895
436,4	2,688	-2,362	1,901
444	2,696	-2,336	1,906
451,9	2,648	-2,492	1,872
461	2,664	-2,44	1,884
469	2,64	-2,518	1,867
483	2,624	-2,571	1,855
481,8	2,616	-2,598	1,850
489,9	2,632	-2,545	1,861
501,1	2,608	-2,624	1,844
509,2	2,608	-2,624	1,844
520,4	2,56	-2,786	1,810
530,3	2,616	-2,598	1,850
540,4	2,584	-2,705	1,827
551,4	2,568	-2,759	1,816
561	2,528	-2,895	1,788
571	2,52	-2,923	1,782
580,6	2,528	-2,895	1,788
590,5	2,512	-2,95	1,776
598,7	2,488	-3,034	1,759
610,2	2,496	-3,006	1,765
620,5	2,52	-2,923	1,782
629,4	2,512	-2,95	1,776
627,4	2,52	-2,923	1,782
639,9	2,488	-3,034	1,759
651,9	2,464	-3,118	1,742
659,8	2,488	-3,034	1,759
679,5	2,416	-3,289	1,708
677,9	2,432	-3,231	1,720
682,7	2,44	-3,203	1,725
687,6	2,448	-3,174	1,731



Obr. 35 Úloha č. 5 - Výsledky měření



## ZÁVĚR

V této práci jsem se zabýval problematikou měření elektrických veličin a vytvořením příručky pro měření elektrických veličin stanovenými měřidly, která poslouží studentům, jako příručka, při jejich práci v laboratoři.

Celkem podrobně jsou zde popsány principy a metody měření, včetně stanovení nejistot. Popsal jsem měřicí přístroje používané v laboratoři C304, jejich obsluhu a rozřazení v rámci jednotlivých pracovišť.

Navrhnul jsem a sestavil úlohu do předmětu Instrumentace a měření: „Měření frekvenční charakteristiky fotodiody“. K tomuto účelu jsem vyrobil laboratorní měřicí zařízení, které odstraní nežádoucí účinky okolního prostředí a zamezí případnému nechtěnému kontaktu s mechanickými částmi. Měření se provádí automaticky v prostředí VEE Pro. Student však musí dohlížet na správnou funkci přístrojů a úspěšně provedené mezioperační nastavení řídicímu programu potvrzovat.

Provedl jsem také vzorové měření, výsledky jsou uvedeny v tabulce a bodovém grafu. Vyhotovil jsem formulář „Protokol o měření“, který je využitelný pro všechny laboratorní úlohy. V protokolu je seznam všech měřicích přístrojů a pomůcek, student pouze vybere ty, které jsou součástí jeho úlohy. Tento protokol jsem využil v rámci mé navržené úlohy.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In this work, I dealt with the measurement of electrical quantities and creating a guide for measuring of electrical quantities by set gauges, which will be as a guide for work in laboratory.

There are in detail described the principles and methods of measurement, including the determination of uncertainties. I described the measuring instruments used in the laboratory C304, servicing and rank within individual workplaces.

I designed and assembled a task in the subject Instrumentation and Measurement, "Measurement of the frequency characteristics of the photodiodes." For this purpose I made laboratory measuring device that removes unwanted effects of the environment and prevent inadvertent contact with mechanical parts. Measurements are carried out automatically in an environment VEE Pro. Student must supervise the correct operation of devices and confirm successfully performed intermediate operational settings to the control program.

I performed also a sample measurement; the results are shown in the table and scatter graph. I prepared a form "Protocol of measurement" that is available for all laboratory tasks. There is a list of all measuring instruments and equipment in the report. Student selects only those that are part of his job. I used the record as a part of my proposed task.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **Jaromír, Brož.** *Základy fyzikálních měření I.*, 2. vydání. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1983. SPN 96-00-15/1.
2. **Jaromír, Brož.** *Základy fyzikálních měření II. Část A*, 1. vydání. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1972. 205 s.
3. **Naděžda, Uhdeová.** *Fyzikální praktikum*, 7. vydání. Brno : VUT, Ústav fyziky, 2002. ISBN 80-214-2051-0.
4. **Pavel, Němeček.** *Nejistoty měření*, 1. vydání. Praha : Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 80-214-2051-0.
5. **Olga, Tůmová.** *Metrologie a hodnocení procesů*, 1. vydání. Praha : BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-249-7.
6. **Jiří, Vlček.** *Měření elektrických veličin*, 1. vydání, 4. dotisk. Praha : Jiří Vlček, 2002. 978-80-7300-249-7.
7. **Václav, Fajt.** *Elektrická měření*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1987. č.j. 23 934/84-30.
8. **Vladimír Haasz, Miloš Sedláček.** *ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ Přístroje a metody*. Praha : České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01717-6.
9. **Drahomíra Hejtmanová, Karel Draxler, Petr Kašpar, Martin Šimůnek.** *ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ Laboratorní cvičení*. Praha : České vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-01-02289-7.
10. **Karl Walter Bonfig, Jürgen Metzger.** *messen & prüfen*. München : Universität Gesamthochschule Siegen, 1991. 0937-3446.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Sb.	Sbírky (Sbírka zákonů České republiky)
UTB	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
FAI	Fakulta aplikované informatiky
odst.	odstavec, odstavce
IS/STAG	Informační systém studijní agendy
např.	například
č.	číslo
tzv.	takzvaný
SNR	Signal to Noise Ratio - poměr úrovně signálu a šumu [dB]
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
vyhl.	vyhláška
ČÚBP	Český úřad bezpečnosti práce
ČBÚ	Český báňský úřad
apod.	a podobně
resp.	respektive
USB	Universal Serial BUS – univerzální sériová sběrnice
LAN	Local Area Network – lokální síť
GPIB	General Purpose Interface BUS – rozhraní sběrnice pro měřicí přístroje
LCD	Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů
CSV	Coma Separated Values – hodnoty oddělené čárkami
LED	Light Emitting Diode – dioda emitující světlo
v.č.	výrobní číslo
VEE	Visual Engineering Environment – vizuálně řízené prostředí

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Logo společnosti Metra Blansko a.s. [[www.metrablansko.cz](http://www.metrablansko.cz)]
- Obr. 2 Schéma obrazovky osciloskopu [7]
- Obr. 3 Blokové schéma digitálního osciloskopu. [6]
- Obr. 4 Blokové schéma multimetru [6]
- Obr. 5 Konektor rozhraní GPIB
- Obr. 6 Systém a proces měření – postup [4]
- Obr. 7 Analogový měřicí přístroj DU 10 [[www.kvt-elektronika.cz](http://www.kvt-elektronika.cz)]
- Obr. 8 Digitální multimetr HP 973A
- Obr. 9 Digitální multimetr M-830B
- Obr. 10 Osciloskop DSO3062A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 11 Měřič tlaku TESTO 435
- Obr. 12 LCRmetr 4263B [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 13 Digitální multimetr 34410A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 14 Čítač 53131A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 15 Generátor střídavého signálu 33220A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 16 Sonda N2862A NS, [[cz.rs-online.com](http://cz.rs-online.com)]
- Obr. 17 Termočlánek PTCO 15W 000 [[cz.rs-online.com](http://cz.rs-online.com)]
- Obr. 18 Teplotní čidlo TE typ K [[cz.rs-online.com](http://cz.rs-online.com)]
- Obr. 19 Kabel 16089D [[www.trs-rentelco.com](http://www.trs-rentelco.com)]
- Obr. 20 Krystal HCJ 30 f 1,8432MHz [[www.gme.cz](http://www.gme.cz)]
- Obr. 21 Fotodioda 1PP75 [[www.soucastka.cz](http://www.soucastka.cz)]
- Obr. 22 LED ZBO-518-090 [[www.gme.cz](http://www.gme.cz)]
- Obr. 23 Chopper SR 540 [[img.directindustry.com](http://img.directindustry.com)]
- Obr. 24 Číslicově řízený zdroj E 3631A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]

- Obr. 25      Vnitřní část M3B
- Obr. 26      Čelní panel E 3631A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 27      Čelní panel 53131A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 28      Čelní panel DSO3062A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 29      Zobrazovací displej DSO3062A [[www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com)]
- Obr. 30      Schéma propojení úlohy č. 5
- Obr. 31      Propojení přístrojů v laboratoři C 304
- Obr. 32      Schéma úlohy č. 5 v prostředí VEE Pro
- Obr. 33      Grafický panel v prostředí VEE Pro
- Obr. 34      Průběh výstupního signálu z fotodiody zobrazený na osciloskopu
- Obr. 35      Úloha č. 5 - Výsledky měření

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka č. 1 - Značky na přístrojích [3]

Tabulka č. 2 - Bezpečnostní faktor pro určení  $u_A$  [4]

Tabulka č. 3 - Hodnoty bezpečného napětí. [vyhl. ČÚBP a ČBÚ č. 50/1978 Sb.]


## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha P 1    Protokol o měření – úloha č. 5

Příloha P 2    Protokol o měření – vzor



## PŘÍLOHA P I: PROTOKOL O MĚŘENÍ – ULOHA Č. 5

 <b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně</b> Fakulta aplikované informatiky				
<b>Číslo protokolu</b>	<b>Protokol o měření</b>			<b>Známka</b>
2014 / 01				-
<b>Předmět</b>	Instrumentace a měření	<b>Datum</b>		2. 6. 2014
<b>Úloha</b>	<b>název</b>	Měření frekvenční charakteristiky fotodiody		
	<b>číslo</b>	5		
<b>Student</b>	<b>jméno</b>	Miroslav Budín		
	<b>studijní obor</b>	BTSM	<b>ročník</b>	3

<b>Seznam přístrojů</b>	<b>Vyberte z následujícího seznamu, dopište výrobní čísla *</b>		
	<b>multimetr</b>	<del>DU 10</del> , v.č.:	<del>HP 973A</del> , v.č.:
		<del>M 830B</del> , v.č.:	<del>34410A</del> , v.č.:
	<b>ostatní</b>	Osciloskop <del>DSO 3062A</del> v.č.:	Měřič tlaku <del>TESTO 435</del> v.č.:
	<del>LCR metr 4263B</del> v.č.:	Čítač <del>53131A</del> v.č.: MY47003189	
<b>Zdroje</b>	<del>Generátor 33220A</del> v.č.:	Chopper <del>SR 540</del> v.č.: 8667	Zdroj <del>E 3631A - 2x</del> v.č.: MY51340088, 81420042
<b>Příslušenství</b>	<del>Sonda N2862A NS</del>	Teplotní čidlo TE typ K	Krystal <del>HCI 30 f 1,8432 MHz</del>
	Termočlánek PTCO 15W-00	Modul M3B	

\* nehodící se škrtejte

### 1. Úvod

Cílem úkolu je stanovit závislost výstupního napětí fotodiody na frekvenci. Stanovit šířku pásma, kde pokles hodnot napětí je menší než 3 %. Naměřené hodnoty zapisovat do tabulky a vytvořit bodový graf.

### 2. Postup měření

Nejdříve jsem si nakreslil blokové schéma propojení jednotlivých přístrojů. LED diodu, rotační kotouč a fotodiodu jsem umístil do uzamykatelné kovové krabice opatřené konektory. Modul má označení M3B. Zpočátku byla LED dioda napájena ze síťového adaptéru, což se ale neosvědčilo, protože světelný paprsek přenášel

kromě nosné frekvence také silné rušivé signály. Po připojení LED diody k číslicově řízenému zdroji se tento problém již nevyskytoval.

V zadání úkolu je měření frekvence od 50 Hz, v intervalu po 10 Hz až do doby, kdy úroveň výstupního napětí poklesne o hodnotu 3 dB. Následně může být měření ukončeno.

Měření bylo prováděno v programu grafického prostředí VEE Pro, což celý proces výrazně zjednodušilo.

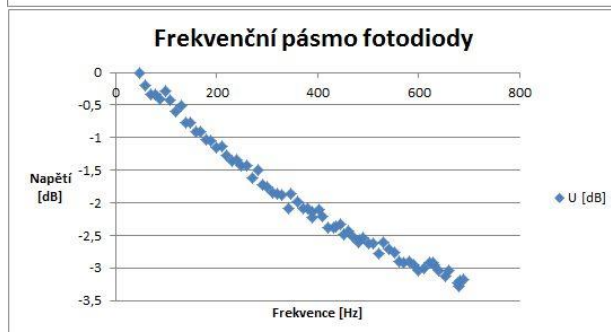
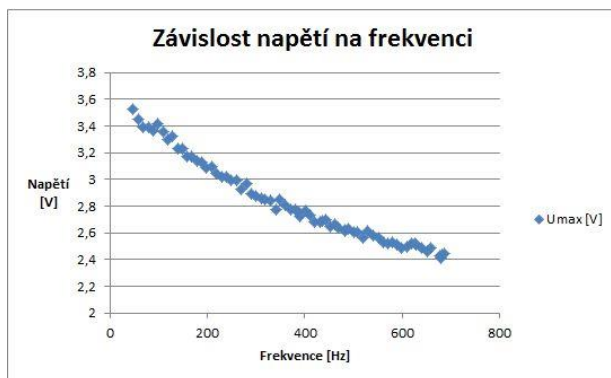
Výsledné hodnoty byly zaznamenány do textového souboru a vloženy do bodového grafu.

### 3. Diskuse výsledků měření

U každé frekvence bylo provedeno 10 měření a výsledná hodnota byla jejich průměrem. Bezpečnostní faktor pro stanovení nejistoty typu A je tedy roven jedné, což znamená nejlepší možný výsledek v daném rozsahu.

Na základě provedených měření vyplývá, že šířka pásma fotodiody 1PP75 ve stanoveném rozsahu je od 50 až 590 Hz.

### 4. Tabulky, grafy



f [Hz]	U <sub>max</sub> [V]	U [dB]	U <sub>ref</sub> [V]
48,6	3,528	0	2,495
58,4	3,448	-0,199	2,438
69,4	3,392	-0,341	2,399
78,8	3,392	-0,341	2,399
88,5	3,368	-0,403	2,382
99,2	3,416	-0,28	2,415
109,1	3,36	-0,424	2,376
119	3,296	-0,591	2,331
129,5	3,328	-0,507	2,353
139,2	3,232	-0,761	2,285
148,9	3,232	-0,761	2,285
159,1	3,176	-0,913	2,246
167,3	3,176	-0,913	2,246
179,5	3,136	-1,023	2,217
188,9	3,128	-1,045	2,212
198,9	3,088	-1,157	2,184
210,6	3,096	-1,135	2,189
220	3,048	-1,27	2,155
230,3	3,016	-1,362	2,133
239,5	3,024	-1,339	2,138
249	2,992	-1,431	2,116
260	2,992	-1,431	2,116
270,4	2,928	-1,619	2,070
281,1	2,968	-1,501	2,099
290,8	2,896	-1,715	2,048
300,9	2,88	-1,763	2,036
311,6	2,856	-1,835	2,019
319,6	2,848	-1,86	2,014
329,5	2,84	-1,884	2,008
341,5	2,776	-2,082	1,963
347,6	2,848	-1,86	2,014
359,8	2,808	-1,983	1,986
370,6	2,776	-2,082	1,963
380,3	2,776	-2,082	1,963
388,8	2,76	-2,132	1,952
390,1	2,728	-2,234	1,929
402,4	2,768	-2,107	1,957
410,2	2,736	-2,208	1,935
419,8	2,68	-2,388	1,895
432,4	2,68	-2,388	1,895
436,4	2,688	-2,362	1,901
444	2,696	-2,336	1,906
451,9	2,648	-2,492	1,872
461	2,664	-2,44	1,884
469	2,64	-2,518	1,867
483	2,624	-2,571	1,855
481,8	2,616	-2,598	1,850
489,9	2,632	-2,545	1,861
501,1	2,608	-2,624	1,844
509,2	2,608	-2,624	1,844
520,4	2,56	-2,786	1,810
530,3	2,616	-2,598	1,850
540,4	2,584	-2,705	1,827
551,4	2,568	-2,759	1,816
561	2,528	-2,895	1,788
571	2,52	-2,923	1,782
580,6	2,528	-2,895	1,788
590,5	2,512	-2,95	1,776
598,7	2,488	-3,034	1,759
610,2	2,496	-3,006	1,765
620,5	2,52	-2,923	1,782
629,4	2,512	-2,95	1,776
627,4	2,52	-2,923	1,782
639,9	2,488	-3,034	1,759
651,9	2,464	-3,118	1,742
659,8	2,488	-3,034	1,759
679,5	2,416	-3,289	1,708
677,9	2,432	-3,231	1,720
682,7	2,44	-3,203	1,725
687,6	2,448	-3,174	1,731

## **5. Závěr**

Měřením bylo zjištěno, že šířka pásma fotodiody je od 50 Hz do 660 Hz. Z tedy výsledků vyplývá, že tato součástka je použitelná jako prvek pro galvanické oddělení, avšak nehodí se při vyšších frekvencích. Co se týče rychlosti reakce na světlo, fotodioda reaguje velmi rychle a spolehlivě.

.....

podpis

## PŘÍLOHA P 2: PROTOKOL O MĚŘENÍ – VZOR

 <b>Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně</b> Fakulta aplikované informatiky			
<b>Číslo protokolu</b>	<b>Protokol o měření</b>		<b>Známka</b>
<b>Předmět</b>	Instrumentace a měření	<b>Datum</b>	
<b>Úloha</b>	<b>název</b>		
	<b>číslo</b>		
<b>Student</b>	<b>jméno</b>		
	<b>studijní obor</b>		<b>ročník</b>

<b>Seznam přístrojů</b>	<b>Vyberte z následujícího seznamu, dopište výrobní čísla *</b>		
	<b>multimetr</b>	<b>DU 10</b> , v.č.:	<b>HP 973A</b> , v.č.:
		<b>M-830B</b> , v.č.:	<b>34410A</b> , v.č.:
	<b>ostatní</b>	Osciloskop <b>DSO 3062A</b> v.č.:	Měřič tlaku <b>TESTO 435</b> v.č.:
LCR metr <b>4263B</b> v.č.:		Čítač <b>53131A</b> v.č.:	
<b>Zdroje</b>	Generátor <b>33220A</b> v.č.:	Chopper <b>SR 540</b> v.č.:	Zdroj <b>E 3631A</b> v.č.:
<b>Příslušenství</b>	Sonda N2862A NS	Teplotní čidlo TE typ K	Krystal HCJ 30 f 1,8432 MHz
	Termočlánek PTCO 15W 00	Modul M3B	

\* nehodící se škrtejte

### 1. Úvod

Uveďte jednotlivé úlohy zadání.

### 2. Postup měření

Pro každou úlohu stanovte postup, také vzorce, které budou pro danou úlohu využity a proveďte (zapněte, zapojte, co, kdy, jak a kde...) a stanovte nejistoty typu A a B.

### **3. Diskuse výsledků měření**

Uveďte hodnoty se zaokrouhlením na patřičný počet míst.

### **4. Tabulky, grafy**

Pokud jsou součástí měření, uveďte.

### **5. Závěr**

Proveďte shrnutí.

.....

podpis