



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NÁVRH MĚŘIČE IMPEDANCE

DESIGN OF AN IMPEDANCE METER

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Glombíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

BRNO 2025



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Vojtěch Glombíček

ID: 256636

Ročník: 3

Akademický rok: 2025/26

NÁZEV TÉMATU:

Návrh měřiče impedance

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte principy měření impedance elektrických součástek a dostupné metody realizace měřicích přístrojů v oblasti nízkých a středních frekvencí. Zaměřte se na způsoby buzení měřeného prvku, zpracování signálu a vyhodnocení výsledků.

Na základě rešerše navrhněte schéma přístroje pro měření impedance v pásmu nastavitelných frekvencí do 100 kHz. Přístroj by měl umožňovat charakterizaci pasivních součástek, zejména cívek a kondenzátorů.

Výsledky zpracujte v semestrálním projektu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího závěreční práce.

Termín zadání: 15.9.2025

Termín odevzdání: 6.1.2026

Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

doc. Ing. et Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem, konstrukcí a testováním digitálního měřiče impedance (LCR metru). Cílem práce bylo vytvořit cenově dostupné zařízení, které se svými parametry přibližuje komerčním laboratorním přístrojům a umožňuje snadnou komunikaci s osobním počítačem. Navržené řešení využívá metodu samo-vyvažovacího můstku a operuje ve frekvenčním rozsahu 10 Hz až 100 kHz. Práce popisuje kompletní hardwarový návrh analogové i digitální části, včetně digitalizace signálu, a následnou implementaci ovládacího softwaru. Výsledkem práce je funkční prototyp měřiče propojitelný přes rozhraní USB. Provedená ověřovací měření na sadě referenčních součástek potvrdila, že zařízení dosahuje požadované přesnosti měření do 1 % v celém pracovním rozsahu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřič impedance, LCR metr, samo-vyvažovací můstek, měření RLC, měřící zařízení, zkušební instrumentace

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design, construction, and testing of a digital impedance meter (LCR meter). The aim of the thesis was to create a cost-effective device with parameters comparable to commercial laboratory instruments, featuring easy connectivity with a personal computer. The proposed solution utilizes the auto-balancing bridge method and operates within a frequency range of 10 Hz to 100 kHz. The thesis describes the complete hardware design of both the analog and digital sections, including signal digitization, as well as the implementation of the control software. The result is a functional prototype connected via a USB interface. Verification measurements performed on reference components confirmed that the device achieves the required measurement accuracy of 1 % across the entire operating range.

KEYWORDS

Impedance meter, LCR meter, auto-balancing bridge, RLC measurement, measuring device, test equipment

GLOMBÍČEK, Vojtěch. *Návrh měřiče impedance*. Semestrální práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2026. Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Vojtěch Glombíček

VUT ID autora: 256636

Typ práce: Semestrální práce

Akademický rok: 2025/26

Téma závěrečné práce: Návrh měřiče impedance

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. V souvislosti s vytvořením závěrečné práce jsem neporušil zásady a doporučení VUT k využívání generativní umělé inteligence.

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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
..... podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu Ing. Ale-
xandru Otáhalovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy
k práci.

Obsah

Úvod	19
1 Teoretická část studentské práce	21
1.1 Impedance	21
1.2 Metody měření impedance	21
1.2.1 Můstková metoda	21
1.2.2 Rezonanční metoda	22
1.2.3 Metoda měření proudu a napětí	22
1.2.4 Samo-vyvažovací můstek	22
1.3 Měřiče impedance dostupné na trhu	22
1.3.1 Univerzální tester komponent	22
1.3.2 Ruční LCR měřiče	23
1.3.3 Stolní LCR měřiče	23
2 Výsledky studentské práce	27
2.1 Programové řešení	27
Závěr	29
Literatura	31
Seznam symbolů a zkratek	33
Seznam příloh	35
A Některé příkazy balíčku thesis	37
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	37
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů	37
B Druhá příloha	39
C Příklad sazby zdrojových kódů	41
C.1 Balíček listings	41
D Algoritmy	45
E Obsah elektronické přílohy	47

Seznam obrázků

1.1	Schéma měřícího můstku	21
1.2	Schéma samo-vyvažovacího můstku	22
1.3	Univerzální tester komponent LCR-T4	23
1.4	Ruční měřič LCR Keysight U1732C	24
1.5	Stolní měřič Rhode&Schwarz LCX200	24

Seznam tabulek

1.1	Porovnání LCR metrů [3] [2]	25
A.1	Přehled příkazů	37

Úvod

Měřiče impedance, často označované jako LCR metry, představují klíčové vybavení jak pro vývojové laboratoře, tak pro výrobní linky. Jejich primárním účelem je precizní měření impedance a odvozených veličin, jako jsou ztrátový činitel, ESR či činitel kvality.

Tato bakalářská práce se zabývá komplexním návrhem, konstrukcí a otestováním funkčního prototypu měřiče impedance. Hlavní motivací pro vznik tohoto zařízení byla absence cenově dostupného řešení na trhu, které by zároveň nabízelo dostatečnou přesnost a možnost snadné integrace s počítačem.

Na základě rešerše komerčně dostupných přístrojů a analýzy požadavků na měření byly stanoveny klíčové parametry navrhovaného zařízení. Cílem je vytvořit přístroj, který se svými vlastnostmi přiblíží profesionálním řešením, avšak s výrazně nižšími pořizovacími náklady.

Specifikace navrženého zařízení:

- Frekvenční rozsah: 10 Hz – 100 kHz
- Rozsah měření indukčnosti: 100 nH – 10 H
- Rozsah měření kapacity: 100 pF – 10 mF
- Cílová přesnost: 1%
- Amplituda měřicího signálu: 0,1 – 2 V
- Stejnosměrná složka (Bias): 0 – 2 V
- Konektivita: Komunikace s PC a napájení přes USB

Text práce je logicky členěn do několika částí. První kapitola shrnuje teoretická východiska týkající se impedance. Druhá kapitola se zaměřuje na princip a implementaci metody samo-vyvažovacího můstku. Třetí část rozebírá problematiku digitalizace a zpracování signálu. Čtvrtá a pátá kapitola detailně popisují samotný hardwarový návrh a související softwarové vybavení. Závěrečná kapitola je věnována verifikaci prototypu a prezentaci naměřených výsledků, které demonstруjí dosaženou přesnost zařízení.

1 Teoretická část studentské práce

1.1 Impedance

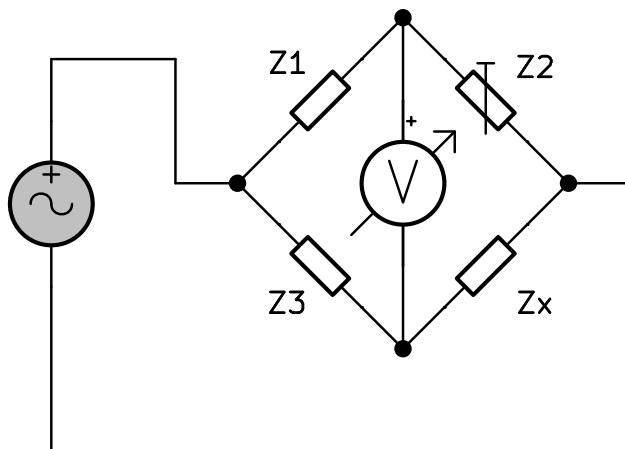
Impedance Z je fyzikální veličina, která popisuje celkový odpor elektrického obvodu vůči střídavému proudu o dané frekvenci. Vyjadřuje se komplexním číslem, kdy reálná část odpovídá odporu R a imaginární část reprezentuje reaktanci X .

V některých případech je výhodné použít obrácenou hodnotu impedance $Y = \frac{1}{Z}$, zvanou admitance. [1]

1.2 Metody měření impedance

1.2.1 Můstková metoda

Měření pomocí můstku je jednoduché a přesné, avšak velmi nepraktické. Princip metody spočívá v tom, že pokud jsou impedance obou větví (Z_2 a Z_x) stejné, pak musí být napětí mezi větvemi nulové.



Obr. 1.1: Schéma měřícího můstku

Když se Z_2 nastaví tak, aby mezi větvemi bylo naměřeno nulové napětí, pak je měřená impedance $Z_x = \frac{Z_1}{Z_3} \cdot Z_2$

Problém této metody spočívá v tom, že je nutno znát nastavenou hodnotu Z_2 . Protože nastavitelné kondenzátory a cívky nejsou praktické, používá se tato metoda zejména pro měření malých změn v odporu např. tenzometru.

1.2.2 Rezonanční metoda

1.2.3 Metoda měření proudu a napětí

Princip této metody je výpočet hodnoty neznámé impedance z naměřených hodnot napětí a proudu podle ohmova zákona. V praxi se proud měří pomocí měření napětí na bočníku.

$$|Z| = \frac{U_1}{I} = \frac{U_1}{U_2} \cdot R$$

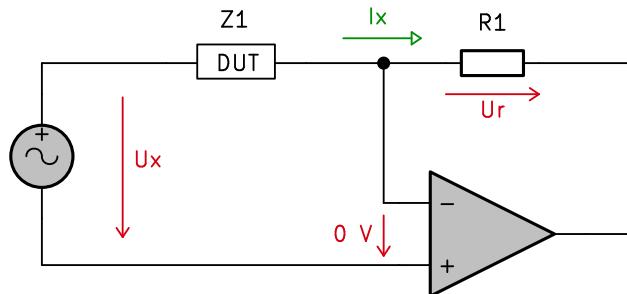
Takovým měřením však získáme pouze modul komplexní impedance, z čehož nelze určit, zda je charakter impedance rezistivní nebo reaktivní. Proto je nutné měřit také fázový posun U_1 a U_2 , který je roven argumentu φ .

$$Z = |Z| \angle \varphi$$

1.2.4 Samo-vyvažovací můstek

V praxi se metoda měření proudu a napětí často implementuje pomocí tzv. samo-vyvažovacího můstku, což je operační zesilovač, který vytváří virtuální zem.

Výhoda takového uspořádání je, že jak měřená impedance tak bočník jsou připojeny k zemi, je tedy možné na nich jednoduše měřit napětí vzhledem k zemi.



Obr. 1.2: Schéma samo-vyvažovacího můstku

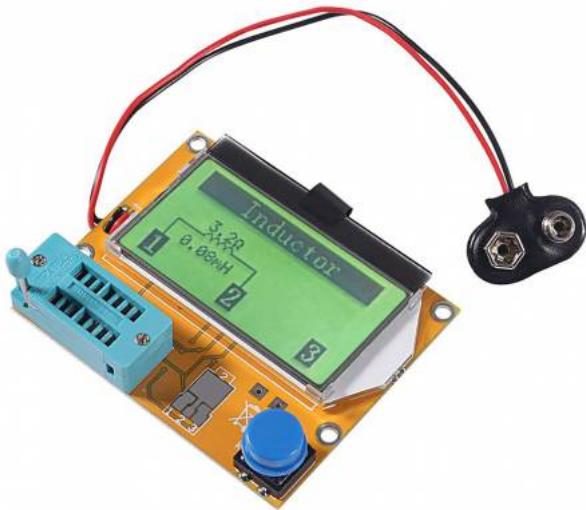
1.3 Měřiče impedance dostupné na trhu

Na trhu je mnoho dostupných zařízení pro měření impedance. Pro ukázku byly vybrány tři, každé ze samostatné cenové kategorie.

1.3.1 Univerzální tester komponent

Jako zástupce nejlevnější třídy byl vybrán tester LCR-T4. Tento přístroj neměří přímo impedance, ale měří hodnoty odporu, kapacity a indukčnosti. Jako doplněk má také funkci rozpoznání tranzistorů.

Pro měření využívá metodu časové konstanty, kdy se měří čas nabítí kondenzátoru přes známý odpor.



Obr. 1.3: Univerzální tester komponent LCR-T4

Přesnost měření není udávána, přístroj totiž slouží pouze pro hrubou identifikaci součástek. Cena se pohybuje okolo 350 Kč.

1.3.2 Ruční LCR měřiče

Pokročilejší přístroje jsou ruční měřiče LCR ve formě podobné multimetru. Pro příklad byl vybrán měřič Keysight U1732C.

Ruční měřiče jsou vhodné pro rychlou identifikaci cívek a kondenzátorů.

1.3.3 Stolní LCR měřiče

Pro nejpřesnější měření je nutno použít špičkové stolní LCR měřiče. Jako zástupce byl vybrán přístroj LCX200 od firmy Rhode&Schwarz.

Tyto přístroje podporují čtyřbodovou metodu měření, která eliminuje parazitní indukčnost měřících sond. Narozdíl od ručních měřičů se zde používají stíněné koaxiální sondy, které jsou méně náchylné k rušení.

Výrobce standardně dodává několik různých fixtur k připojení měřeného vzorku, typicky SMD součástky.

Většina stolních měřičů také podporuje připojení do sítě LAN a automatizaci měření.



Obr. 1.4: Ruční měřič LCR Keysight U1732C



Obr. 1.5: Stolní měřič Rhode&Schwarz LCX200

Tab. 1.1: Porovnání LCR metrů [3] [2]

Parametr	Keysight U1732C	Rohde & Schwarz LCX200
Konstrukce	Ruční	Stolní
Cena	cca 13 000 – 15 000 Kč	cca 120 000 – 300 000 Kč+
Frekvenční rozsah	Pevné body: 100 Hz, 120Hz, 1 kHz, 10 kHz	Spojitý: 4 Hz až 10 MHz
Základní přesnost	0, 2 %	0, 05 %
Amplituda test. signálu	Pevná (typicky 0, 74 Vrms)	Nastavitelná: 10 mV až 10 V
DC Bias (Předpětí)	Není k dispozici	Interní 0–10 V (Externí až 40 V)
Rychlosť měření	~ 1–2 měření/s	až 250 měření/s
Konektivita	IR-to-USB	USB, LAN, Digital I/O, GPIB

2 Výsledky studentské práce

Praktická část a výsledky studentské práce vhodně rozdělené do částí.

2.1 Programové řešení

Závěr

Shrnutí studentské práce.

Literatura

- [1] Keysight Technologies: *Impedance Measurement Handbook: A Guide to Measurement Technology and Techniques*. Keysight Technologies, 6 vydání, July 2020, application Note 5950-3000.
URL <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-06840/application-notes/5950-3000.pdf>
- [2] Keysight Technologies, Santa Rosa, CA, USA: *U1730C Series Handheld LCR Meters: Data Sheet*. 2021, lit. No. 5990-7778EN.
URL <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-02950/data-sheets/5990-7778.pdf>
- [3] Rohde & Schwarz, Munich, Germany: *R&S LCX LCR Meters: Data Sheet*. 2022, verze 03.00, Dok. č. 3609.8309.32.
URL https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/data_sheet/3609_8309_32/LCX_dat_en_3609-8309-32_v0300.pdf

Seznam symbolů a zkratek

LCR	induktivita, kapacita, odpor
ESR	equivalent series resistance (ekvivalentní sériový odpor)
DUT	device under test (měřené zařízení)
f_{vz}	vzorkovací kmitočet

Seznam příloh

A Některé příkazy balíčku thesis	37
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	37
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů	37
B Druhá příloha	39
C Příklad sazby zdrojových kódů	41
C.1 Balíček listings	41
D Algoritmy	45
E Obsah elektronické přílohy	47

A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	β_{\max}	$\$\\beta_{\\textind{max}}$$	textový index
<code>\const{...}</code>	U_{in}	$\$\\const{U}_{\\textind{in}}$$	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	u_{in}	$\$\\var{u}_{\\textind{in}}$$	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	u_{in}	$\$\\complex{u}_{\\textind{in}}$$	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	\mathbf{y}	$\$\\vect{y}$$	vektor
<code>\mat{...}</code>	\mathbf{Z}	$\$\\mat{Z}$$	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	$\$\\unit{kV}$ či \unit{kV}$	jednotka

A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla: e,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky: j, i,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem¹: μ,
- `\uppi` – sazba symbolu π (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází π).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

¹znak pochází z balíčku `textcomp`

B Druhá příloha

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v L^AT_EXu je možné doporučit balíček **TikZ**. Příklady sazby je možné najít na **TEXample**. Pro vyzkoušení je možné použít programy **QTikz** nebo **TikzEdt**.

C Příklad sazby zdrojových kódů

C.1 Balíček `listings`

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlisting}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
    balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
    {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
    sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

6 `\begin{acronym}[KolikMista]`

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdélší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky f_{vz} je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratky

```
15 \acro{symfvz} % název
16 [\ensuremath{f_{\text{\tiny \texttt{vz}}}}] % symbol
17 {vzorkovací kmitočet} % popis
```

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobena tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vratte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu `šablony`.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Priklad testovani stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp( 'Polynom:' ); disp(poly2str( a, 'z' ))
6
7 disp('Kontrola pomocí korenů polynomu:');
8 zx = roots( a );
9 if( all( abs( zx ) < 1 ))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
13 end
14
15 disp(''); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1, length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2 )
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr( aa );
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.' ))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezi stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

```

// první kanonická forma
short fxdf2t( short coef[][][5], short sample)
{
    static int v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};
    int x, y, accu;
    short k;

    x = sample;
    for( k = 0; k < SECTIONS; k++){
        accu = v1[k] >> 1;
        y = _sadd( accu, _smpy( coef[k][0], x));
        y = _ssh1(y, 1) >> 16;

        accu = v2[k] >> 1;
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][1], x));
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][2], y));
        v1[k] = _ssh1( accu, 1);

        accu = _smpy( coef[k][3], x);
        accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][4], y));
        v2[k] = _ssh1( accu, 1);

        x = y;
    }
    return( y);
}

```


D Algoritmy

Pro sazbu algoritmů/pseudokódu je možné využít balíček `algorithm2e` nabízející bohaté možnosti sazby. Na algoritmy je možno se klasicky odkazovat křížovými odkazy, jako zde: viz alg. 1.

Algoritmus 1: B-PHADQ

```
Zvol parametry  $\tau, \sigma, > 0, \rho \in [0, 1]$ 
Inicializuj  $x^{(0)}, p^{(0)}, q^{(0)}$  a  $\omega_s$ 
for  $i = 0, 1, \dots$  do
     $q^{(i+1)} = \text{clip}_\lambda(q^{(i)} + \sigma D R_{\omega_s} G_g x)$ 
     $u = p^{(i)} - \tau G_g^* R_{\omega_s}^* D^* q^{(i+1)}$  % pomocné
     $p^{(i+1)} = \frac{1}{\tau+1}(\tau \text{proj}_\Gamma(u) + u)$ 
     $x^{(i+1)} = p^{(i+1)} + \rho(p^{(i+1)} - p^{(i)})$ 
end
return  $p^{(i+1)}$ 
```

E Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné komentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobré napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/..... kořenový adresář přiloženého archivu
  logo ..... loga školy a fakulty
    BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
    BUT_color_PANTONE_EN.pdf
    FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
    FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
    UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
    UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
    VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
    VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
    VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
  obrazky ..... ostatní obrázky
    soucastky.png
    spoje.png
    ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
    ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
  pdf ..... pdf stránky generované informačním systémem
    student-desky.pdf
    student-titulka.pdf
    student-zadani.pdf
  text ..... zdrojové textové soubory
    literatura.tex
    prilohy.tex
    reseni.tex
    uvod.tex
    vysledky.tex
    zaver.tex
    zkratky.tex
  sablona-obhaj.tex ..... hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
  sablona-prace.tex ..... hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
  thesis.sty ..... balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```